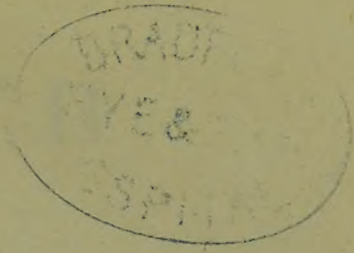

22101030362



HANDBUCH

DER GESAMMTEN

AUGENHEILKUNDE.

ZWEITER BAND.

'fr. /

HANDBUCH

DER GESAMMTEN

AUGENHEILKUNDE

HERAUSGEGEBEN

VON

Prof. ARLT in Wien, Prof. JUL. ARNOLD jun. in Heidelberg, Prof. AUBERT in Rostock, Prof. O. BECKER in Heidelberg, Prof. BERLIN in Stuttgart, Prof. FÖRSTER in Breslau, Prof. ALFRED GRAEFE in Halle, Prof. HIRSCH in Berlin, Prof. IWANOFF in Kiew, Dr. LANDOLT in Utrecht, Prof. LEBER in Göttingen, Prof. LEUCKART in Leipzig, Prof. MANZ in Freiburg, Prof. MERKEL in Rostock, Prof. MICHEL in Erlangen, Prof. NAGEL in Tübingen, Prof. SAEMISCH in Bonn, Prof. SCHIRMER in Greifswald, Prof. SCHMIDT in Marburg, Dr. SNELLEN in Utrecht, Prof. SCHWALBE in Jena, Prof. WALDEYER in Strassburg, Prof. von WECKER in Paris

REDIGIRT VON

Prof. ALFRED GRAEFE in Halle und Prof. THEOD. SAEMISCH in Bonn.

ZWEITER BAND.

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

ZWEITER THEIL.

MIT 218 FIGUREN IN HOLZSCHNITT.

LEIPZIG,
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.
1876.


WELLCOME
HISTORICAL
MEDICAL
LIBRARY

Inhalt

des zweiten Bandes.

Seite

Capitel VIII.

Capitel IX.

Capitel V.[1])

Entwicklungsgeschichte des menschlichen Auges

von

Prof. **Manz** in Freiburg.

---

§ 1. Einleitung. Wie das Auge der Wirbelthiere in seinem wunderbaren Aufbau aus den heterogensten Geweben seit langer Zeit als eines der schwierigsten, aber auch zugleich lohnendsten Objecte der anatomischen Forschung gegolten hat, so gehört auch die Geschichte jenes kunstvollen Baues zu den Glanzpuncten der modernen Embryologie. Kaum ein Organ von so complicirter Structur ist in seiner Entwickelung so genau erforscht, keines aber auch bietet der Untersuchung so auffallende, in so kurzer Zeit aufeinanderfolgende Formveränderungen als das Auge. Wenn einerseits das Nahebeieinander dieser Verwandlungen, die rasche Folge derselben die Arbeit einengt und dadurch erleichtert, so sind es fast dieselben Eigenschaften, verbunden mit der Kleinheit des ganzen Organes, inbesondere die grosse Raschheit, mit welcher, in den ersten Stadien wenigstens, die wichtigsten Metamorphosen sich folgen, wodurch jene wieder sehr erschwert, und wodurch die geringe Cultur verständlich wird, welche die Ophthalmogenese bei den älteren Embryologen erfahren hat. Da sind es dann ausserdem gewisse vorübergehende Formen, welche so sehr späteren von ganz verschiedenem Inhalt gleichen, dass Irrthümer, Verwechslungen transitorischer mit stationären Gebilden bei nicht sehr eingehender, über nur geringe Hilfsmittel verfügender Forschung nicht ausbleiben konnten; so die Verwechslung der primären Augenblase mit der späteren Form des Bulbus. Gerade hier ist es vor Allem nöthig, über ein Material völlig verfügen zu können, dessen Entwicklung dem Anatomen gewissermaassen in die Hand gegeben war, die er, wenn auch nicht in lebendiger Succession beobachten, doch in beliebig vielen Stadien unterbrechen und diese zur Untersuchung vornehmen konnte. So sind denn die Arbeiten über die Entwicklung des Hühnchens, vor Allem die von v. Baer (1) und Remak (2) auch für die des Auges der Wirbelthiere im Allgemeinen völlig bahnbrechend gewesen; was später andere Thiere an Beobachtungsmaterial geliefert haben, hat im Wesentlichen die dort gewonnenen Resultate nur bestätigt, in Wenigem modificirt. Die Grundschemata haben sich für alle Wirbelthierklassen als die gleichen erwiesen, fundamentale Unterschiede sind, für die ersten Stadien wenigstens, dabei nicht hervorgetreten; aber Unterschiede haben

[1]) Das Manuscript für dieses und das Capitel über Missbildungen wurde schon im Juni vorigen Jahres eingeliefert.
Die Redaction.

sich doch gezeigt, und zwar nicht nur darin, dass der ganze Ablauf der einzelnen Veränderungen mit der verschiedenen Dauer der Gestation ein verschieden langer ist, sondern auch in dem Auftreten, Ausbleiben oder Verschwinden einzelner Bildungen in den verschiedenen Wirbelthierklassen. Ich brauche hier nur an die *Membrana pupillaris*, oder an die verschiedenen Schicksale der fötalen Augenspalte bei den Fischen, Vögeln und Säugethieren zu erinnern. So wäre es denn gewiss höchst wünschenswerth und interessant, für die Entwicklung des menschlichen Auges auch so viele Zwischenstufen zur Beobachtung zu haben, als uns für andere Thiere zu Gebote stehen, insbesondere um die histologischen Differenzirungen möglichst genau verfolgen zu können, welche aus den einfachen homologen Anlagen Gebilde von so verschiedener morphologischer Dignität entstehen lassen. Von der Erfüllung dieses Wunsches sind wir aber zur Zeit noch sehr weit entfernt. Das Beobachtungsmaterial sowohl für die primordiale morphotische Entwicklung des menschlichen Auges, als auch für histologische Ausbildung desselben ist noch sehr klein. Einestheils sind sehr junge Embryonen nur als grosse Raritäten zur Untersuchung gekommen, anderntheils hat man auch den weiter vorgerückten Stadien in Bezug auf ihre innere Structur weniger Aufmerksamkeit zugewendet, als sie es verdienen, und als ihnen die moderne Histologie nun zu Theil werden lässt. Abgesehen davon, dass dem Anatomen menschliche Eier aus den frühesten Perioden überhaupt selten in die Hände fallen, geschieht das meistens in einem Zustand, der kaum die gröbsten Formen zu erkennen erlaubt. Die Blutungen, welche solche Eier vor der Zeit zu Tage fördern, oder wenigstens ihre Ausstossung begleiten, verletzen meistens dieselben so sehr, dass Detailstudien daran nicht mehr vorzunehmen sind; dazu kommt, dass gegenüber der so bedeutenden relativen Grösse, welche das Auge des Hühnerembryo auszeichnet, und dasselbe in seinen frühesten Entwicklungsstadien der Untersuchung so zugänglich macht, das Säugethierauge in dieser Zeit ausserordentlich klein ist, so dass seine Wahrnehmung schon stärkerer Vergrösserungen bedarf.

§ 2. Erstes Auftreten der Augen bei den Wirbelthieren. Schon die erste Frage nach der Zeit, in welcher die erste Anlage der Sehorgane beim Menschen zur Erscheinung kommt, ist bis jetzt kaum zu beantworten. Die Beobachtungen vom Hühnchen sind zur Beantwortung gar nicht zu brauchen, da die ganze Entwicklung bei demselben den Säugethieren gegenüber so rasch abläuft, dass eine Vergleichung der einzelnen Perioden der Zeit nach nicht angeht; mit der Verlängerung eines Zeitraums verwischen sich aber dann wieder die Trennungen zwischen den einzelnen Stadien, und es ist kaum mehr zu sagen, in welcher Stunde oder an welchem Tage dieses oder jenes Organ zuerst bemerkbar wird. Dazu kommt, was schon für das Hühnchen gilt, dass die einzelnen Entwicklungsphasen beim einzelnen Thier durchaus nicht in gleichem Tempo ablaufen, so dass die gleiche Bebrütungs- oder Gestationszeit nicht immer auch einen gleichen Stand der Bildung angibt.

Für die Säugethiere hat Bischoff (3), und zwar für Hund und Kaninchen gefunden, dass bei ihnen die Anlage des Sehorgans zu den frühesten Bildungen gehört, und in die Zeit fällt, in welcher das vordere Ende des Medullarrohrs zur ersten Hirnzelle sich erweitert. Eine deutliche Abschnürung der Augenblasen von dem indessen entstandenen Zwischenhirn fällt beim Hunde ohngefähr auf

den 14. bis 15. Tag. Diese Stufe scheint einige Zeit anzudauern, denn Bischoff fand auch bei etwas älteren Embryonen denselben Zustand, nur die Hemisphären weiter entwickelt, und am cerebralen Eingang des Augenblasenstiels einen Wulst, als Anfang des Sehhügels. Am 27. Tage fand er die Communication zwischen Zwischenhirn und Augenblase aufgehoben. Beim Kaninchen wird das Augenbläschen um den 10. Tag sichtbar; beim Reh ohngefähr am 14. Tage. Wir dürfen dabei aber nicht übersehen, dass bei den Säugethieren wegen der mächtigeren Kopfplatten die Beobachtung ungleich schwieriger ist, als beim Hühnchen.

Von menschlichen Embryonen, die zur Untersuchung gekommen sind, gehören nur sehr wenige dem ersten Schwangerschaftsmonat an, und unter diesen wurde, bei den seinen ersten 2 bis 3 Wochen entstammenden vom Auge Nichts wahrgenommen. Es gehören dahin ein auf 15 bis 18 Tage geschätztes Ei von Coste (5) beobachtet, bei welchem die Kiemenbogen angelegt, die Kiemenspalten aber noch nicht durchgebrochen waren; vom Augen- und Ohrbläschen meldet die von Kölliker (6) wiedergegebene Beschreibung und Abbildung Nichts, ebenso vom Gehirn nur, dass der Kopftheil sehr wenig verdickt war. Zwei von Thomson (7) untersuchte Eier, angeblich von 12 und von 15 Tagen zeigten keine Spur einer weiteren Entwickelung des Medullarrohrs, somit auch keine Sinnesorgane. Für die dritte (vollendete) Woche lauten die Angaben verschieden: Arnold (8) konnte bei einem dreiwöchentlichen Embryo von 5 Mm. Länge selbst mit bewaffnetem Auge Nichts von einem Augenbläschen entdecken, obschon die Trennung der drei Gehirnblasen stattgefunden hatte; von ihnen soll übrigens die hintere grösser als die beiden vorderen gewesen sein. Er gibt an, dass die Augen erst in der vierten Woche als schwärzliche Puncte sich bemerkbar machen. In einem ähnlich gebauten Embryo fand R. Wagner (9) das Gehörbläschen, aber kein Auge. Ebenso negativ mit Bezug auf letzteres ist ein von J. Müller (10) in seiner Physiologie beschriebener und abgebildeter Embryo von ca. drei Wochen, bei welchem über die Gehirnentwicklung ebenfalls Nichts angegeben ist. Dagegen waren in einem zweiten von Coste beschriebenen Eichen (5. Pl. II a.), dem 20. bis 21. Tage entstammend, die Anlagen der Augen- und Ohrenbläschen vorhanden, von den Extremitäten nur die vorderen leicht angedeutet; Stirnfortsatz und Kiemenbögen waren ebenfalls entwickelt.

Von der vierten Woche an werden die Augen bei gut erhaltenen (und normal entwickelten) Embryonen nicht mehr vermisst. So in einem von Thomson gezeichneten, und zwei von Coste bekannt gemachten von 25 bis 28 Tagen, wobei die Zeichnung dasselbe immer als einen doppelten Ring, der sich gegen die Mundöffnung hin etwas zuspitzt, markirt; in einem Falle wird ausdrücklich gesagt, dass das Auge nicht gefärbt gewesen sei, was sich bei einem der fünften Woche angehörigen anders erwies. Aber auch für eine vierwöchentliche Frucht, welche von Kölliker gerade zur genaueren Untersuchung des Auges mit reichem Erfolg verwendet worden ist, und von der weiter unten noch öfters die Rede sein wird, fand sich die Pigmentirung auf die äussere Lamelle der secundären Augenblase beschränkt[1].

Ritter (11) beschreibt die Augen eines Embryo der fünften Woche als zwei kleine, nur mit der Loupe sicher zu entdeckende röthliche Puncte, über dem vor-

[1]) Aehnlich verhielten sich zwei der Sömmering'schen Sammlung angehörige Embryonen (Catal. Mus. Sömm. No. 40 und 42. Frankfurt 1830), sowie ein von A. Ecker gezeichneter (Icon. physiol. Tab. XXIV. Fig. VI).

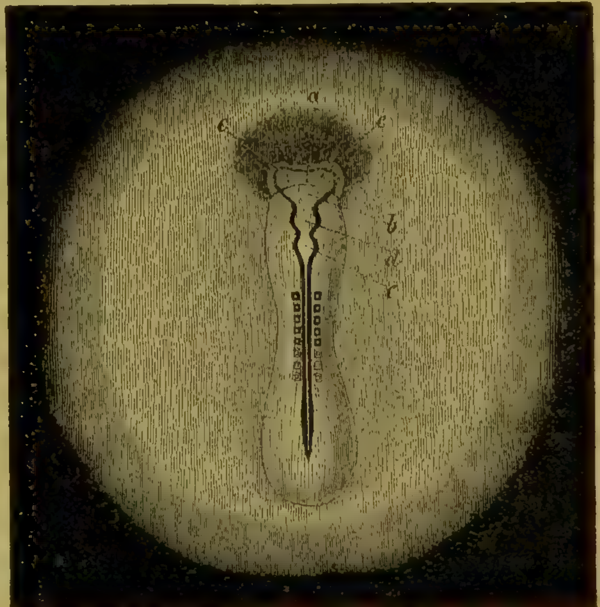
deren Ende der vorderen Hirnblase, 3 Mm. voneinander entfernt, dicht neben der Mittellinie gelegen. Eine Begrenzung der Bulbusform war noch nicht vorhanden, die Pigmentirung stand im Anfang. Die Linse enthielt im Inneren noch eine kleine Höhlung, und war durch einen soliden trichterförmigen Stiel an die Oberhaut befestigt. Im Gegensatze zu einigen der obenerwähnten Beobachtungen fand er die Augen nicht prominent. Ein Embryo vom Ende der fünften Woche, den J. Kollmann (12) abgebildet hat, zeigt dagegen das Auge auf einem warzenförmigen Hügel liegend, welcher darum »Augenhügel« genannt wird und vom Stirnfortsatz sowohl, als vom Oberkiefer durch eine mehr oder weniger tiefe Furche getrennt ist. Eine ähnliche Abbildung findet sich auch bei Coste. v. Ammon (13 p. 12) fand wie Ritter bei Embryonen vom Ende des ersten Monats die Augen sehr klein, nur mittelst Vergrösserung deutlich zu unterscheiden, von der Farbe der Umhüllungshaut, etwas später jedoch bläulich gefärbt, grösser und erhabener; die Augen stehen nach unten gegeneinander convergirend; beide seien oft ungleich entwickelt, das linke meist weiter vorgeschritten. Wenn sich letztere Angabe bestätigte, so würde dieselbe vielleicht auf die Seitenlage des Embryo zu beziehen sein, welche nach His (14 p. 139) ihrerseits durch die assymetrische Stellung des Herzens bedingt ist, und darum immer so erfolgt, dass die rechte Seite des Kopfes und Halses nach oben zu liegen kommt.

Versuchen wir aus dem eben Mitgetheilten, das wohl so ziemlich Alles enthält, was über das früheste Erscheinen der Sehorgane beim Menschen bekannt ist, uns nun über den zeitlichen Gang der Entwicklung derselben, über das zeitliche Auftreten der wichtigsten Phasen zu unterrichten, so werden wir sofort erkennen, dass dazu das vorhandene Beobachtungsmaterial noch lange nicht ausreicht. Eine genaue Untersuchung über das Entstehen der primären Augenblase, über ihre Abschnürung von der Gehirnblase, ihre erste Form und Lage fehlt noch ganz. In den jüngsten Früchten, die in vermuthlich normalem Zustand zur Untersuchung kamen, war, wie die betreffende Beschreibung und auch Abbildung vermuthen lassen, die Einstülpung der primären Augenblase schon geschehen, die Linse schon angelegt oder gebildet. Für die um dieselbe Zeit oder etwas später vor sich gehende Einstülpung des Glaskörpers gibt uns der erwähnte Kölliker'sche Embryo den einzigen Anhaltspunct.

Wenn die citirten Forscher fast alle vor Ende der dritten Wochen vom Auge Nichts entdeckt haben, so ist das natürlich kein Beweis, dass die Bildung desselben etwa erst um diese Zeit begonnen habe; wahrnehmbar wird es meistens erst durch seine Färbung, d. h. durch die Pigmentablagerung im äusseren Blatt der secundären Augenblase, also in der That erst zu der Zeit, wo eine solche schon vorhanden ist. Ausserdem erlaubt uns wohl die Analogie mit den Thieren anzunehmen, dass jene Pigmentablagerung der geschehenen Einstülpung erst einige Zeit nachfolgt, um wie viel später, wissen wir allerdings nicht, aber auch diese Färbung entsteht nicht im ganzen Umfang des Auges zu gleicher Zeit, sondern rückt, wie sich später zeigen wird, ziemlich langsam von Stelle zu Stelle. Geben wir allen diesen Vorgängen auch nur eine mässige Zeitdauer, so kommen wir doch zu der sehr wahrscheinlichen Vermuthung, dass auch beim Menschen, wie bei den Thieren die Entwicklung der Sehorgane zu den frühesten Bildungen gehört, deren Anfänge wohl in die ersten Tage des Embryolebens hinauf reichen.

§ 3. **Entwickelung der primären Augenblasen.** Zu der Zeit, da beim Säugethierembryo die ersten Spuren der Sehorgane sichtbar werden, hat sich das Medullarrohr in seiner vorderen Abtheilung schon in die drei sogenannten Hirnblasen gegliedert, von welchen die vorderste die bei weitem grösste ist, während die mittlere und hintere nur als geringe Ausbuchtungen erscheinen. Die Rückenfurche ist zu dieser Zeit, beim Kaninchen wenigstens, schon geschlossen, der Kopftheil des Embryo hat sich schon etwas vom Fruchthofe erhoben, so dass insbesondere die vordere Hirnblase schon einen nicht unbeträchtlichen Höhendurchmesser gewonnen hat; ausserdem zeigt dieselbe über ihrer oberen Fläche eine sanfte Längsvertiefung, welche sich übrigens erst später tiefer eingräbt. An beiden Seiten dieser vorderen Hirnblase entwickelt sich eine weitere zunächst stumpfe Hervorragung, die sich jedoch bald mehr von ihrer Unterlage erhebt, dabei aber immer durch eine breite Basis mit dem Markrohr in offener Verbindung bleibt: die primären Augenblasen. Der ganze Kopftheil ist dabei von einer Falte des äusseren Keimblattes überzogen, welches zur Amniosbildung verwendet wird (Kopfscheide). Von einem engeren Ueberzug der Hirnblasen mit dem äusseren Keimblatt kann in diesem Stadium noch nicht wohl die Rede sein, da das Medullarrohr selbst als eine Bildung des Hornblattes angesehen werden muss. Für die Batrachier findet sich allerdings nach den Untersuchungen von Stricker (15) u. A. hier schon eine sehr wesentliche Differenzirung jenes Blattes in eine äussere (dunkle) und eine innere (helle) Schicht, aus welch ersterer die Epidermis sich bildet, während in der letzteren die Anlage des Centralnervensystems zu suchen ist; jenes heisst darum nach Stricker Umhüllungshaut, dieses das Sinnesblatt, aus welchem übrigens nicht nur das Gehirn, sondern auch die Linse sich bilden sollen. Für die Säugethiere ist indess eine solche Scheidung des Hornblattes nicht nachgewiesen.

Fig. 1.



Embryonalanlage des Kaninchens vom Rücken gesehen *b* erste Hirnblase. *d* zweite Hirnblase. *e* dritte Hirnblase. *cc* primäre Augenblasen (nach Bischoff).

Für Abhebung der primären Augenblasen von der Hirnblase werden nun nach His (s. Z. Präp. No. 1) [1]) gewisse mechanische Momente verantwortlich gemacht, welche das Hervorstülpen jener und auch deren spätere Abschnürung in der That auf einfache Weise erklären. Vor Allem kommt hier die Fixirung des Medullarrohrs an seiner unteren Fläche durch das vordere Ende der *Chorda dorsalis* in Betracht, durch welche bei dessen stärkerem Wachsthum seitliche Ausladungen nothwendig entstehen müssen, welche eben die Augenblasen bil-

[1]) Z. Präp. bezieht sich auf eine von Dr. A. Ziegler in Freiburg, auf Anregung des Verfassers gefertigte Serie von Wachspräparaten, welche die wichtigsten Phasen aus der Entwicklungsgeschichte des Auges darstellen.

den. Eine Verbindung für diese besteht an der unteren Fläche der Hirnblase als zwei nach rückwärts convergirende Falten, die sogenannte Basilarleiste (His). Mit der stärkeren Entwicklung des Vorderhirns rücken die Augenblasen etwas auseinander, weiter nach unten und hinten, so dass dieselben jetzt nicht mehr der vordersten Abtheilung der ersten Hirnblase, welche zu den Hemisphären wird, sondern einer dahinter und darunter liegenden Abtheilung derselben, dem späteren Zwischenhirn angehören, in dessen Höhlung ihre Wurzeln mit nahe aneinander liegenden Mündungen auslaufen. Wenn dabei auch eine Vereinigung beider Augenstiele, mithin eine gemeinschaftliche Mündung für beide vorkommt, wie Remak angibt, so findet sich doch kein Entwicklungsstadium, in welchem nur ein unpaariges Sehorgan vorhanden wäre, wie das auch von v. Baer, Huschke (16) gegenüber, festgehalten worden ist, und die Missbildung der Cyclopie allein kann natürlich eine solche Annahme weder erhärten noch widerlegen. Die Augenblasen liegen sich jetzt allerdings wieder verhältnissmässig näher, als vorher, da sie noch weiter nach vorne, d. h. ziemlich nahe der vorderen Wölbung der ersten Hirnblase gelegen hatten.

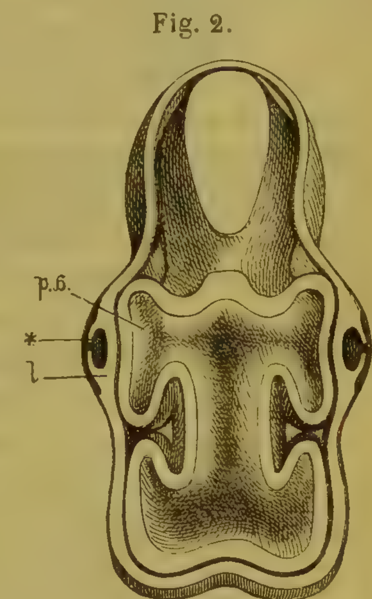
Ein weiteres wichtiges Moment für die Abschnürung der Augenblasen bildet nach His die Entwicklung und die späteren Veränderungen des sogenannten Zwischenstranges. Es bildet derselbe ursprünglich eine zwischen Hornblatt und Medullarrohr eingeschobene Platte des mittleren Keimblattes, welche dann zu beiden Seiten des Nervenrohrs sich einschiebt, und hier nun, nach His, durch eine mechanische Spannung — eine Folge der Kopfbeugung — wie ein Keil zwischen Augenblase und Gehirn einschneidet, und dadurch die Verbindung zwischen beiden auf einen etwas dünneren Stiel reducirt. Dieser Stiel ist immer noch hohl und nur sehr kurz, und liegt an der unteren Seite der Augenblase, indem deren Abschnürung nicht von allen Seiten her in gleichem Maasse, sondern am meisten von oben und hinten, viel weniger von vorne, und gar nicht von unten her stattfindet. Der Ansatz des Stieles rückt übrigens später noch weiter nach hinten, und geht als Basilarleiste zur Basis des Zwischenhirns. Während dieser Zeit gehen übrigens an der Augenblase selbst wichtige Veränderungen vor sich, welche im folgenden § beschrieben werden.

Was die Structur der primären Augenblase anlangt, so unterscheidet sich dieselbe nach allgemeiner Annahme nicht von der der Hirnblasen, wie auch ihre Dicke so ziemlich die gleiche ist. Als einzelne histologische Elemente sind bis jetzt allerdings nur ziemlich unbestimmte Formen bekannt, eine bestimmte Beziehung derselben zueinander kaum vermuthet.

§ 4. Bildung der secundären Augenblase. Die primäre Augenblase ist in der ebenbeschriebenen Lage bedeckt von dem Hornblatt, und, bei den Säugethieren wenigstens, auch von dem mittleren Keimblatt, welches hier als Kopfplatten bezeichnet wird, und welchem auch der His'sche Zwischenstrang angehört. Uebrigens ist in dieser Zeit auch für die Säugethiere die zwischen Augenblase und Hornblatt ausgebreitete Schicht derselben ziemlich dünn, so dass ihre Existenz noch manchem Zweifel begegnet, und Einige für die Kopfplatten hier eine Unterbrechung annehmen. Der Höhe der Augenblase gegenüber erfolgt nun eine Wucherung und Einsenkung des Hornblattes zu der sogenannten Linsengrube, welche bei den Säugern und Vögeln nach aussen offen,

bei den Fischen und Batrachiern dagegen durch die äusserste Lage des Hornblattes geschlossen ist (Schenk (17)). Dadurch entsteht zunächst eine sackförmige hohle Einsenkung, unter welcher nothwendigerweise bei den Säugethieren wenigstens auch eine dünne Lage des mittleren Keimblattes liegen muss. Das hohle, anfangs mit der freien Körperoberfläche communicirende Säckchen entfernt sich nun mehr und mehr von dieser, es bildet sich ein kurzer Stiel als Rest des Zusammenhangs jenes mit dem Hornblatt, der immer dünner wird und sich endlich ablöst; doch bleibt das Linsensäckchen noch lange Zeit in Berührung mit der Oberhaut, bis endlich, wie wir sehen werden, die Kopfplatten sich dazwischen schieben. Der eben geschilderte, von Huschke (16) zuerst beobachtete Vorgang der Linsenbildung wird gegenwärtig von allen Forschern ebenso beschrieben, während anfangs v. Baer Widerspruch dagegen erhoben hatte. Durch die Einstülpung des Hornblattes muss nothwendigerweise die anstossende vordere Wand der primären Augenblase mit eingestülpt werden, und zwar in dem Umfange des Linsensäckchens; die Höhlung, welche dadurch entsteht, und vorerst fast ganz von letzterem ausgefüllt ist, die ferner eine doppelte Wandung hat, heisst die secundäre Augenblase. Der Raum derselben vergrössert sich zusehends auf Kosten der primären, deren Lumen dadurch in eine schmale Spalte verwandelt wird. An der Wandung der secundären Augenblase unterscheidet man ein inneres oder vorderes, und ein äusseres oder hinteres Blatt. Beide Blätter haben von Anfang gleiche Dicke, ein Verhältniss, das sich übrigens bald zu Gunsten des inneren Blattes ändert, welches beim Hühnchen schon am dritten Tage zweimal so dick ist als das äussere. Das Gleiche muss, wie aus dem weitern Verlauf hervorgeht, auch beim Säugethier der Fall sein, denn auch hier reducirt sich das letztere schliesslich auf eine einfache Zellenlage, das Pigmentepithel.

Fig. 2.



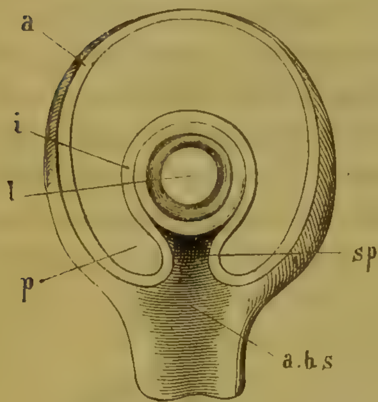
Oberes Kopfsegment des Hühnchens (Durchschnitt des Gehirns nach His). *p. a.* primäre Augenblase. *l.* Linsenanlage. * Höhlung derselben (mit Mündung nur beim Hühnchen beobachtet.) Z. Präp. No. 2.

Die Umschlagsstelle der beiden Blätter liegt am, sogar ein wenig vor dem Aequator der neugebildeten Linse, und zeigt hier meistens eine kleine Erweiterung, wenn das Lumen der primären Augenblase schon spaltförmig geworden ist. Dieser Raum steht noch fortwährend in offener Verbindung mit dem Augenstiel, und durch diesen, der sich indessen etwas länger ausgezogen hat, mit dem Gehirn. Die rundliche Einmündungsstelle, die anfangs nahe dem hintern Pol der Augenblase gelegen hatte, liegt jetzt ganz excentrisch am hintern Rand derselben.

Liegt der Embryo auf der Seite, so zeigt sich die Linse von einem dicken Wall umgeben, eben der Umschlagstelle der beiden Blätter der secundären Augenblase; dieser Wall zeigt aber nach unten eine Unterbrechung: die fötale Augenspalte. Dieselbe ist zu verschiedenen Zeiten und bei verschiedenen Thieren von verschiedener Breite, ihre Tiefe erreicht den Linsenrand. Die die Spalte begrenzenden Partieen der Blasenwand sind etwas verschmächtigt, wobei sich ausserdem das innere Blatt gewöhnlich ein wenig über das äussere herüber

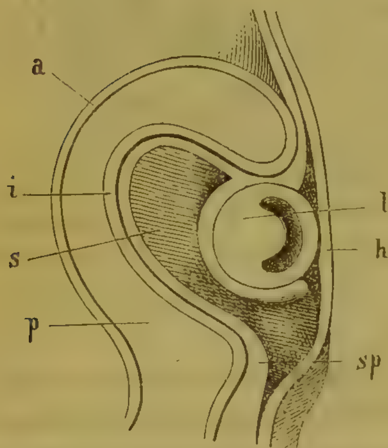
legt. Anfangs erscheint, in der genannten Lage betrachtet, die Spalte dreiseitig mit nach dem Linsenäquator hin gerichteter Basis, wodurch die Linsengrube eine birnförmige Gestalt erhält, die später kreisförmig wird, sich folglich der Form der Linse völlig anschliesst. Da zu dieser Entwicklungszeit der Augenblasenstiel noch sehr kurz ist, hat auch die Spalte nur eine geringe Länge. Der Boden derselben ist das vordere Blatt, welches gerade an dieser Stelle von dem hintern ziemlich weit entfernt ist, indem dieses erst später bei weiterer Abgrenzung des Sehnerven sich auch nahe der Augenspalte nach vorne schiebt, so dass dann auch hier der Rand der Linse von einem doppelblättrigen Walle umschlossen ist. Die gegenseitige Lage der beiden Blätter wird besonders klar bei Betrachtung beistehender Abbildung (Fig. 4), welche einen senkrechten Durchschnitt durch einen noch nicht zwei Tage alten Hühnerembryo schematisch darstellt (nach Lieberkühn (18)). Die Einfassung der Linse ist an ihrem unteren Rande noch eine sehr unvollständige in doppelter Hinsicht: es ist hier der sie umgebende Wall nur ein einblättriger, und bleibt sogar etwas hinter ihrem Aequator zurück; zu dieser Zeit besteht somit auch noch keine Netzhautspalte. Diese bildet sich erst dann, wenn das vordere Blatt, dem sich nun auch das hintere genähert hat, sich auch an jener Stelle des Linsenumfangs stärker erhebt, zwischen sich einen spaltförmigen Raum ausspart, welcher erst sehr seicht ist, später durch die stärkere Erhebung der ihn begrenzenden Umschlagsstelle der beiden Blätter mehr und mehr sich vertieft, dabei aber an Breite abnimmt, weil jene Ränder sich enger an die Linse anschliessen. Die Spalte führt somit zu keiner Zeit etwa in die Höhle der primären Augenblase, sondern mündet nach vorwärts an den untern Linsenrand resp. in einen gleich zu beschreibenden hinter ihr liegenden Raum, nach rückwärts aber an die Basis des Gehirns, an der Stelle, wo später das *Chiasma nerv. opt.* sich entwickelt.

Fig. 3.



Frontalschnitt durch das Auge eines Vogelembryo etwa vom dritten Tage. (Schematisch.) *p* primäre Augenblase. *a* deren äusseres, *i* deren inneres Blatt. *l* Linse. *sp* Augenspalte. *abs* Augenblasenstiel. Z. Präp. No. 4.

Fig. 4.



Auge des Hühnchens vom zweiten Tage. Schemat. Längsschnitt nach Lieberkühn. *p* primäre Augenblase. *s* secundäre Augenblase (mit Glaskörperanlage). *a* äusseres, *i* inneres Blatt der primären Augenblase. *l* Linse. *h* Hornblatt. *sp* Augenspalte. Z. Präp. No. 3.

Bevor wir die weiteren Veränderungen, welche die beiden Blätter der secundären Augenblase durchmachen, näher betrachten, soll noch einer, von der allgemeinen abweichenden Auffassung über die Bildung der secundären Augenblase, die von His herrührt, Erwähnung gethan werden. Während nämlich, seit Huschke's Entdeckung so ziemlich alle Forscher die Einstülpung der vorderen Wand der primären Augenblase durch die sich nach einwärts entwickelnde Linse geschehen lassen, betrachtet His die Bildung der Augenblasengrube als eine Folge der

schon oben nach seiner Anschauung entwickelten mechanischen Umgestaltungen bei der Abschnürung der primären Augenblasen. Eine Fortsetzung jener Grube verläuft als eine seichte Rinne auf der Aussenfläche des Wurzeltheils nach rückwärts gegen den Trichter; aber nicht allein die Einstülpung der Augenblase, sondern die Bildung der Linse selbst wird von His (14 p. 138) als ein Faltungsvorgang aufgefasst.

§ 5. Weitere Veränderungen der beiden Blätter der secundären Augenblase. Um diese Zeit geht nun auch eine wichtige Veränderung in den beiden Blättern der Augenblase vor sich, die sich, wie es scheint, auch bei den Säugethieren sehr rasch und schon in den frühesten Entwicklungsstadien vollzieht. Während nämlich bisher jene Blätter so ziemlich gleich dick gewesen waren, entwickelt sich jetzt ein beträchtlicher Unterschied zwischen beiden, der einerseits durch eine Dickenzunahme des inneren, noch mehr aber durch eine Verdünnung des äusseren Blattes zu Stande kommt. Ich lasse hier einige von M. Schultze (19) angegebene Maasse folgen:

Hühnerembryo 40. bis 50. Stunde der Bebrütung: äusseres Blatt 0,022 Mm., inneres 0,038 Mm. Ende des dritten Tages: äusseres Blatt 0,019 Mm., inneres 0,040 Mm.

Bei einem vier Wochen alten menschlichen Embryo, welchen Kölliker (6) abbildet, besass die äussere Lamelle einen Durchmesser von 0,05 Mm., die innere von 0,1 Mm. Die Verdickung und Verdünnung erstrecken sich so ziemlich gleichmässig über die ganze Ausdehnung der betreffenden Blätter, auch an der Umschlagstelle ist die Differenz eine ziemlich wenig vermittelte. Neben dieser machen sich nun auch schon Structurverschiedenheiten bemerkbar. Während nämlich im inneren Blatt eine radiäre Streifung sich immer deutlicher herausbildet, tritt sie im äusseren mehr zurück vor dem Auftreten des dunkeln Pigments; dieses zeigt sich in Form feinster dunkelbrauner Körnchen, welche anfangs in geringerer Menge, bald aber sehr dicht eingestreut sind, ohne dass man, wie alle Beobachter zugeben, zunächst eine besondere Gruppirung derselben wahrnehmen kann. Beim Hühnchen finden sich ohngefähr am sechsten Tage erst kleine Gruppen von Körnchen von einem schmalen hellen Hof umgeben, welcher als Zellengrenze aufzufassen ist; auch diese Veränderung scheint von hinten nach vorne fortzuschreiten. Bald zeigt nun das äussere Blatt von der Fläche betrachtet, die bekannte Mosaik des entwickelten Pigmentepithels. Seitliche Ansicht ergibt ausserdem, dass die Zellenlage nur eine einfache ist und die einzelnen Zellen die Form kurzer Pallisaden haben, in welchen das Pigment die äussere Partie einnimmt, die innere, nach der Retina gerichtete jedoch ziemlich frei lässt. Die Zellencontouren sind übrigens auch in diesem Stadium noch sehr zart und treten erst noch später mit dem Wachsthum der Zellen selbst, sowie auch der Kern deutlicher hervor. Nach Ritter (11) sollen die Pigmentkörnchen durch eine Abscheidung aus dem Kern der betreffenden Zellen entstehen, wodurch dem letzteren ein besonderer Glanz und ein dunkler Contour zukomme.

Während dieser Umbildung der Wandungen der secundären Augenblase geht die Höhlung der primären allmählich ganz verloren, da die beiden Blätter sich immer inniger zusammenlegen. Beim Hühnchen geschieht dies schon sehr früh, beim Menschen findet sich die Trennung durch einen schmalen Spalt doch

noch um die vierte Woche angedeutet, doch mag es wohl geschehen, dass derselbe bei der Anfertigung der Präparate künstlich erweitert wird.

Durch die Ablagerung des Pigments im äusseren Blatt ist nun auch die fötale Augenspalte, die natürlich davon frei bleibt, sehr deutlich geworden, als ein pigmentloser schmaler Streifen, welcher vom unteren Rand der Linse bis zum Sehnerven hin sich erstreckt. So lange man das Pigment zur Choroidea rechnete, wurde er irrthümlich als Choroidealspalte angesehen, während beim Säugethier wenigstens jene Membran damit nichts zu thun hat. Für diese hat also der von verschiedenen Beobachtern, wie auch schon von v. Baer erhobene Widerspruch seine volle Geltung; dazu kommt, dass die nur der späteren Netzhaut angehörende Spalte beim Säugethier sehr frühe verwächst, und dann nur noch durch den hellen Streifen — nach v. Baer (1 p. 77) eine Verdünnung der Netzhaut — angedeutet ist. Die fötale Augenspalte ist übrigens jetzt beträchtlich länger geworden dadurch, dass der Sehnerv sich von der untern Wand des Auges etwas mehr an die hintere zurückgezogen hat.

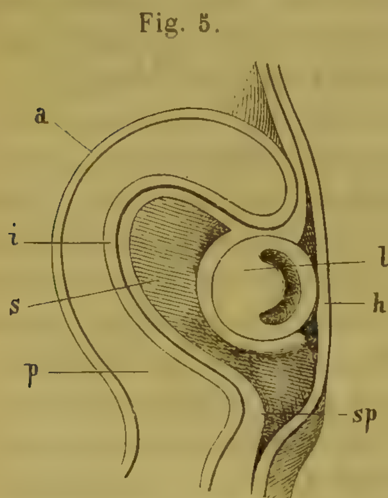
§ 6. **Bildung des primordialen Glaskörpers.** Während in der ersten Zeit nach der Linseneinstülpung das innere Blatt der secundären Blase der hinteren Fläche der Linse völlig anzuliegen scheint, rücken beide bald auseinander, es bildet sich hinter ihr, gleichzeitig mit der Verengerung des primären Augenraums, ein Raum, in dem später der Glaskörper sich vorfindet. Die Entwicklungsgeschichte dieses Organs blieb den Embryologen lange Zeit hindurch unbekannt, und möchte Manchem auch jetzt noch nicht völlig aufgeklärt erscheinen. Bevor der Vorgang der Linsenbildung erkannt war, war man geneigt, den Glaskörper als den Inhalt der primären Augenblase anzusehen. So sagt auch v. Baer (1 p. 77), und zwar über einen Entwicklungszustand, in welchem »die vordere kreisförmige Oeffnung der Netzhautblase schon durch die Linse ausgefüllt ist«, jene Blase besitze keinen so dünnen Inhalt, wie die Hirnblasen, sondern »ein dickflüssiges Eiweiss, den Glaskörper, der sich nach der Behandlung mit Weingeist ausschälen lässt«. Schon dieser Beisatz zeigt, dass v. Baer den wirklichen Glaskörper, nicht aber den ursprünglichen Inhalt der primären Augenblase vor sich hatte. Diese Anschauung theilen noch mehrere Beobachter, darunter auch Huschke (16 p. 10), der wiederum abweichend von Andern nur den Glaskörper, nicht auch, wie z. B. Arnold die Krystalllinse auf jene Entstehung zurückführt und dabei auf die flüssige Consistenz hinweist, welche das *Corpus vitreum* bei niederen Wirbelthieren habe. »Das *Corpus vitreum* ist«, sagt er, »ein in Zellen krystallisirtes Hirnwasser« und steht eine Zeit lang durch den offenen Sehnerven in directer Verbindung mit dem flüssigen Inhalt der Hirnhöhlen. An die Stelle dieser Anschauung, welche nach Bekanntwerden der Linsenbildung eigentlich nicht mehr haltbar war, trat die Beschreibung, welche Schöler (20) von der Glaskörperbildung gab. Nach ihm handelt es sich dabei gewissermaassen um eine Wiederholung jenes Einstülpungsvorganges, wodurch die Krystalllinse entsteht, wobei Theile der äusseren Bedeckungen, wenn auch nicht des Hornblattes, in das Innere des Auges eindringen. Dies geschieht am unteren Rande der Linse, an der Stelle, welche schon sehr frühe durch die fötale Augenspalte gekennzeichnet wird. Nach Schöler's Darstellung, welche für das Hühnchen gilt, und welcher sich zuerst

Kölliker (6) auch für den menschlichen Embryo völlig anschloss, dringt nämlich ein leistenartiger Fortsatz der Cutisanlage von unten her gegen die Augenblase an, drängt deren untere Wand nach oben und verwandelt die vorher becherförmige Gestalt derselben in eine haubenförmige. Die freien, natürlich ebenfalls doppelblättrigen Ränder der Haube stehen anfänglich weit auseinander, nähern sich aber später wieder, wodurch dann der intraoculare Theil der Kopfplatten von dem extraocularen völlig getrennt wird. Nach dieser Ansicht ist somit die fötale Augenspalte das Resultat eines Hereinwucherns der Kopfplatten zwischen Linse und inneres Blatt der secundären Augenblase; eine Hauptstütze für dieselbe ist vor Allem der Nachweis eines zeitweise vorhandenen Zusammenhangs des Glaskörpers mit den das embryonale Auge umschliessenden Kopftheilen, und ein solcher ist von mehreren Seiten geliefert (6 p. 281). Wenn es sich um die genauere Präcisirung des Ortes handelt, von welchem aus die Kopfplatten hinter die Linse dringen, so muss man sich erinnern, dass die Insertion des Opticus zu dieser Zeit noch an der unteren Fläche der Augenblase, somit jener Stelle noch viel näher liegt, als später, dass sich daher die Form der eindringenden Masse sehr wohl einer Leiste oder einem Zapfen (Lieberkühn) vergleichen lässt.

Eine weitere Stütze konnte die Schöler'sche Ansicht in der histologischen oder mehr histogenetischen Analogie finden, welche zwischen dem Glaskörper und dem embryonalen subcutanen Zellgewebe besteht, auf welche besonders durch Virchow hingewiesen wurde. Hier wäre freilich einzuwenden, dass die embryonale Erfüllung des Glaskörperraums sich nicht unwesentlich von dem späteren definitiven Glaskörpergewebe unterscheidet, allein die Elemente sind dieselben, wie sie in den Kopfplatten vorliegen, insbesondere sind es die Anlagen der Blutbahnen. Darauf beruht die grösste Wichtigkeit des Eindringens parablastischer Elemente (His) in das Innere des Auges, dass damit Blutgefässe dahin gelangen, welche sich dann zu einem Gefässsystem entwickeln, von welchem der grösste Theil später wieder schwindet. Dass durch den fötalen Augenspalt gefässhaltige Theile des mittleren Keimblatts in den Raum hinter die Linse dringen und den Zwischenraum zwischen ihr und dem inneren Blatt ausfüllen, steht somit ausser Zweifel; es entsteht nur die Frage, ob alle eindringenden Partieen der Kopfplatten diesen Weg einschlagen. Kölliker (6 p. 296) hat es zuerst als wenigstens sehr wahrscheinlich ausgesprochen, dass bei der Linsenbildung mit dem Hornblatt auch eine dünne Lage der Cutis sich einstülpe, deren subcutanes Bindegewebe dann den Glaskörper bilde, während sie selbst zur gefässhaltigen Linsenkapsel werde. Kölliker verwendete diese Thatsache vorzüglich zur Erklärung der Entstehung der letzteren sowie der mit ihr zusammenhängenden Gefässhäute, gibt aber zu, dass seine Anschauung noch manchem Zweifel begegnen könne. Die neuesten Beobachtungen haben dieselbe aber für die Säugethiere wenigstens ausser allen Zweifel gesetzt, während für das Hühnchen die Sache allerdings nicht ganz sicher ist. Für letzteres hatte Remak angenommen, dass die primäre Augenblase mit ihrer vorderen Fläche direct an das Hornblatt anstosse, dass zwischen beiden kein anderes Gewebe sich einschiebe, ein Befund, welcher auch von den späteren Untersuchern bestätigt worden ist. Bei Säugethieren verhält sich das aber anders, hier liegt zwischen Hornblatt und Augenblase eine dünne Schicht der Kopfplatten, welche bei der

Einstülpung des ersteren mit eingestülpt werden muss. Auf dieses Verhalten, dass die ganze Augenblase zugleich mit ihrem Stiele von den Kopfplatten umschlossen ist, hat neuestens besonders Lieberkühn (18) aufmerksam gemacht und diese Thatsache Kessler (21) gegenüber aufrecht erhalten. Ob es sich dabei um einen durchgreifenden Unterschied zwischen Vogel und Säugethier handelt, oder ob, wie jener Forscher andeutet, die Zwischenlage der Cutis nur so dünn sei, dass sie auf dem Querschnitt übersehen wird, muss zur Zeit noch dahingestellt bleiben. Beim Rindsfötus ist übrigens die zwischen der vorderen Wand der Augenblase und dem Hornblatt sich einschiebende Schicht der Kopfplatten von nicht unbeträchtlicher Dicke. Spätere Entwicklungszustände sind für diese Verhältnisse nicht mehr verwendbar, da nach Abschnürung der Linse die Kopfplatten vor derselben zusammenwachsen; doch lehren Präparate von jenen herrührend immerhin, dass der Zusammenhang des hinter der Linse liegenden gefässhaltigen Gewebes mit den Kopfplatten nicht auf die Gegend der Augenspalte beschränkt ist. Wie auch die Durchschnitte gelegt sein mögen, sofern sie nur senkrechte sind, findet sich darin eine zwischen dem vorderen Rand der secundären Augenblase und dem Linsenrand durchtretende membranöse Verbindung zwischen den vor der Linse vorbeiziehenden noch wenig differenzirten Augenhüllen und dem Glaskörper, auch erscheint dieser auf solchen Durchschnitten meistens noch wie eine gefaltete, gefässhaltige Membran, aus welcher, wie wir sehen werden, nicht nur er, sondern auch die gefässtragende Linsenkapsel hervorgeht. Die Annahme einer Miteinstülpung der Cutisanlage mit dem Hornblatt schliesst natürlich nicht aus, dass durch die fötale Augenspalte gefässhaltige Theile in grösserer Mächtigkeit in das Augeninnere treten, und für die Vögel, bei welchen, wie schon Remak angab und Kessler neuerdings bestätigte, die Kopfplatten auf der freien Oberfläche der Augenblase unterbrochen sind, so dass diese direct an das Hornblatt stösst, muss vor der Hand ein anderes Verhalten wenigstens noch als zweifelhaft gelten. Es darf hier übrigens gewiss nicht von einer Thierklasse auf die andere geschlossen werden, da gerade die Entwicklung der ocularen Gefässsysteme wesentliche Unterschiede ergibt, so z. B. in Betreff der Pupillarmembran und der Gefässe des Sehnerven.

Fig. 5.



Auge des Hühnchens vom zweiten Tage. Schemat. Längsschnitt nach Lieberkühn. *p* primäre Augenblase. *s* secundäre Augenblase (mit Glaskörperanlage). *a* äusseres, *i* inneres Blatt der primären Augenblase. *l* Linse. *h* Hornblatt. *sp* Augenspalte. Z. Präp. No. 3.

Bevor wir die weiteren Schicksale der fötalen Augenblase verfolgen, müssen wir auf die erste Anlage des letzteren, dessen histologische Entwicklung übrigens in einem späteren Paragraphen genauer verfolgt werden soll, einen Blick werfen.

§ 7. Anlage des Sehnerven. Ueber die Uranlage des Sehnerven lauten die Angaben aller Beobachter so ziemlich übereinstimmend: wir haben sie schon oben in der anfangs ganz kurzen Verbindung zwischen primärer Augenblase und vorderer Hirnzelle vorgefunden. Diese Verbindung ist lange Zeit hindurch hohl, ihre Wandungen denen jener sowohl als dieser analog gebaut. Da, wie wir gesehen haben, das hintere Blatt der Augenblase sic

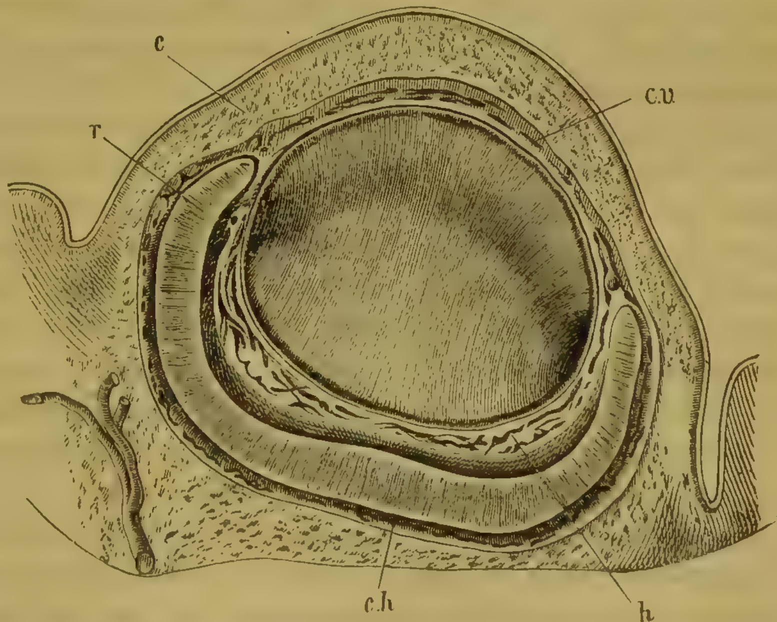
gerade an deren Wurzel dem vorderen anfangs nur wenig nähert, so fehlt dem Canal des Sehnerven zu dieser Zeit die eine (obere) Wandung, die sich mit dem weiteren Abrücken des Auges vom Gehirn dann allmählich erst entwickelt. Der Querschnitt des Canals ist noch ein ziemlich senkrecht stehendes Oval, und verwandelt sich erst später in einen Kreis.

Die Einmündung des Canals in die Höhle des Gehirns ist schon von v. Baer (1 p. 119) deutlich beschrieben, und lässt sich namentlich auf Frontalschnitten ziemlich leicht treffen. Wie lange dieser Zustand dauert, darüber haben wir für den Menschen, überhaupt für die Säugethiere noch keine bestimmte Nachricht; beim Hühnchen füllt sich die cerebrale Sehnervenmündung, von v. Baer als Sehnervengrube bezeichnet, um den achten bis zehnten Tag.

Ueber die Ausfüllung des gegen das Auge hin gelegenen Stücks, wodurch der Nerv zu einem soliden Strang wird, hatte man bisher einen für Vögel und Säugethiere identischen Modus angenommen, ohne übrigens dafür ganz sichere Beobachtungen zu besitzen. Erst neulich ist hervorgehoben worden (Lieberkühn), dass eine solche Uebereinstimmung nicht oder wenigstens nur sehr unvollkommen bestehe, indem dem Vogelauge eine *Art. centralis ret.*, welcher, wie später gezeigt werden wird, ein Hauptantheil bei der Ausfüllung (resp. Einstülpung) des Säugethieropticus zukommt, fehlt. Aber auch bei diesem ist jener Vorgang doch auch nur zum Theil das Resultat einer Faltung, in der Hauptsache vielmehr ein Wachsthumsvorgang (vergl. § 22).

§ 8. Entwicklung der Hüllen der secundären Augenblase. Aus dem Theil der Kopfplatten, in welche die secundäre Augenblase eingebettet ist, sondert sich nun in deren unmittelbarer Umgebung eine Gewebsschichte ab, welche anfänglich wohl als eine allgemeine, gleichmässig gebaute, und, mit Ausnahme ihrer vorderen Wand, auch ziemlich gleich dicke Hülle jene Blase umgibt, ohne dass aber sonst schon eine vollständige Trennung derselben von den übrigen Kopfplatten vorhanden wäre. Innerhalb dieser Hülle erfolgt mit einer solchen zugleich allmählich eine Scheidung hauptsächlich nach zwei Richtungen: eine der Fläche nach, welche zur Bildung einer gefässreicheren inneren Lage, und einer erst später sich consolidirenden äusseren Ver-

Fig. 6.



Gefässanlage des fötalen Säugethierauges (nach Lieberkühn). *c* Anlage der Cornea. *cv* vordere Abtheilung des Gefässlagers. *ch* hintere Abtheilung desselben. *h* Gefässe des Glaskörpers. *r* Retina.

anlassung gibt, und eine andere, durch welche für diese beiden Schichten eine hintere und vordere Abtheilung geschaffen wird.

Die innere gefässreiche Schicht, welche in ihrer hinteren Abtheilung dem äusseren Blatt der secundären Augenblase unmittelbar anliegt, in ihrem vorderen dieselbe überragt und vor der Linse vorbeistreicht, ist früher im Ganzen als Uvea bezeichnet worden, eine Bezeichnung, welche jedoch, da sie leicht zu Verwechslungen führen kann, besser fallen gelassen und mit der ganz unverfänglichen der Gefässhaut vertauscht wird. Dieselbe entwickelt sich in späterer Zeit in ihrem hinteren Abschnitt zur *Choroidea*, in ihrem vorderen zur *Membrana pupillaris*, an deren Stelle noch später *Iris* und *Corpus ciliare* treten.

Die äussere gefässarme Hülle der Augenblase, deren Entwicklung eine weit einfachere bleibt, wird in ihrer vorderen Abtheilung zur Cornea, in ihrer hinteren zur Sclerotica. Beide Hüllen bleiben in ihrer ganzen Ausdehnung die längste Zeit hindurch miteinander in Berührung und werden später nur durch die Bildung von Lymphräumen geschieden, von welchen der vordere eine bedeutende Ausdehnung gewinnt, und unter Vernichtung eines Theiles der Gefässhaut zur vorderen Augenkammer wird.

Im Folgenden soll nun die Entstehung und Ausbildung jener einzelnen Abschnitte der embryonalen Augenhüllen näher besprochen und zwar mit der vorderen Abtheilung der Gefässhaut der Anfang gemacht werden.

§ 9. Membrana pupillaris. Die *Membrana pupillaris* ist dreimal entdeckt worden: zuerst (1738) wurde sie von Wachendorff (s. Reich (23)), dann 1742 von Haller, und zuletzt 1752 von Albin beschrieben, wobei jedem Forscher die Errungenschaft seines Vorgängers, wie es scheint, unbekannt geblieben war. Wachendorff beschreibt sie als die zarteste Membran des ganzen menschlichen Körpers, Andere ebenso als ein sehr zartes Häutchen, nur über die Farbe gab es verschiedene Ansichten: die Einen erklärten sie für farblos, Andere für grau oder schwärzlich, ein Befund, welcher, wie Reich glaubt, nur eine Fäulnisserscheinung darstellt, was aber doch nicht ganz sicher ist, da der genaue Connex mit der Iris vielleicht doch auch ausnahmsweise zu einer Pigmentirung Veranlassung gibt.

Viel wichtiger ist die Lage resp. der Verlauf der Membran, und in dieser Beziehung stimmen alle ersten Beobachter in einer Auffassung überein, welche sich nachher als ein Irrthum erwiesen hat. Wachendorff, Haller, Albin, Zinn und A. geben an, dass das Häutchen vom inneren Rand, d. i. vom Pupillarrand der Iris, entstehe, und mit dieser in einer Ebene verlaufend, die Pupille verschliesse. Dem gegenüber fand Rudolphi in einem achtmonatlichen menschlichen Fötus die Membran vor der Iris liegend, und Henle (22) bestätigt diesen Befund für alle von ihm untersuchten Thiere und Menschen, ein Verhalten, welches, wie sich später im teratologischen Theil zeigen wird, ganz besonders auch durch die pathologischen Fälle gestützt wird.

Die eigentliche Ursprungsstelle liegt auf der vorderen Irisfläche an der äusseren Grenze der Sphincterpartie, welche in den meisten Augen durch eine erhabene zackige Linie ausgezeichnet ist, an welche von der Peripherie her gewisse radiäre Zeichnungen sich ansetzen. Das Relief dieser Linie ist allerdings in verschiedenen Augen verschieden, in den Fötusaugen übrigens meistens noch

nicht kräftig entwickelt. In manchen Fällen scheint jene Zickzacklinie ganz zu fehlen, und hier imponirt die Membran mehr als Fortsetzung der radiären Irisstreifung. Die Hauptsache aber bleibt, worauf schon HENLE aufmerksam machte, dass der Pupillarrand frei hinter der Pupillarmembran liege, dass diese von ihm aus keine Verbindungen empfängt. Einen überwiegenden Bestandtheil derselben machen die Blutgefässe aus, welche, wie ebengenannter Autor zuerst angab, aus dem sogenannten *Circulus iridis internus* als radiär verlaufende Aestchen entspringen, und in der Pupillarmembran durch vielfache Theilungen und Anastomosen ein ziemlich reichliches Netz bilden, jedenfalls viel seltener eine entschiedene Bogenbildung darstellen, wie sie CLOQUET und DEMOURS beschreiben, wobei das Centrum gefässlos bleiben soll. Auf den Antheil, welchen die *Arteriae cil. longae* an jenem Netz haben, wurde ebenfalls hingewiesen; der Uebergang von Arterien in Venen findet wohl ausser durch Capillaren, wie HENLE (22 p. 5) vermuthet, auch auf directem Wege statt, wofür etwa jene Bogenbildung geltend gemacht werden könnte.

Eine andere, zu dem zusammenhängenden System der vorderen Gefässhäute des Auges gehörige Membran wurde von JOH. MÜLLER aufgefunden, und von HENLE in dessen Dissertation als *Membrana capsulo-pupillaris* beschrieben. Sie entspringt, nach ihm, zugleich mit der *Memb. pup.* von der vorderen Fläche der Iris, beugt sich, diese verlassend, um den freien Pupillarrand nach hinten und etwas nach aussen um, und erreicht die vordere Kapsel ohngefähr am inneren Rand der *Zonula Zinnii*, ohne dass aber eine genaue Grenze zwischen beiden gefunden werden könnte; auch sie ist, wie die erstbeschriebene, pigmentlos, und ebenso zart. HENLE fand diese Membran in verschiedenen Thierfötus, beim Menschen verhinderte ihn der Zustand seiner Präparate dieselbe nachzuweisen.

Die Hauptquelle für die Blutgefässe dieses Häutchens ist nach demselben. Forscher die *Arteria hyaloidea* resp. *capsularis* (HENLE), deren Endzweige am Linsenäquator nicht auf die vordere Linsenfläche, sondern eben hier in jene Membran übergehen, ohne übrigens ein eigentliches Capillarnetz zu bilden.

Im Wesentlichen ist somit die *Membrana capsulo-pupillaris* eine Verbindung zwischen der vor der Iris gelegenen *Membrana pupillaris* und der die Linse umgebenden Gefässhaut, wie das auch ein von HENLE gezeichneter schematischer Durchschnitt des vorderen Theiles des Augapfels darstellt; nur sind hier die eng aneinander liegenden Theile, Linse, Iris und *Membr. pup.* künstlich auseinander gezogen; dadurch entsteht dann die starke Rückwärtsbeugung der fraglichen Membran um den Pupillarrand, die natürlich sofort ausgeglichen wird, wenn wir die Linse in ihrer natürlichen Stellung, d. h. in Berührung mit der Hinterfläche der Iris belassen.

Was nun die Herkunft der Pupillarmembranen angeht, so herrscht unter denen, welche sie beschrieben haben, eine ziemliche Verschiedenheit der Ansichten. Diejenigen vor Allem, welche sie mit dem freien Pupillarrand in Verbindung setzen, betrachten sie einfach als Fortsetzung der Iris; so HELD, MECKEL, HUSCHKE, WRISBERG (22 p. 13), welcher sie eine verdünnte und durchsichtiger gewordene Iris nennt; WACHENDORFF lässt an ihrer Bildung auch das Pigmentblatt theilnehmen.

Von Anderen wird ihre Herkunft in die *Membrana hum. aquei*, welcher man damals überhaupt allerlei Verbindungen zumuthete, verlegt (PORTAL, RUDOLPHI);

wieder Andere erklären sie für zweiblättrig und vindiciren ihr demgemäss einen doppelten Ursprung (Cloquet). Henle betrachtet die *Membr. pupillaris* als die vordere, die *Membr. capsulo-pupillaris* als die seitliche Wandung eines die Linse umhüllenden gefässhaltigen Sackes, dessen Boden die hintere Kapsel bildet, und welche in ihrem vorderen Theil durch die Iris eingeschnürt ist. Wir werden sehen, wie nahe er mit seiner Darstellung den neuesten Resultaten der Entwicklungsgeschichte gekommen ist; eine Verbindung mit der hinteren Hornhautfläche hält er wenigstens für nicht erwiesen. Zunächst sollen hier noch einige Zeitangaben in Betreff des ersten Auftretens und Verschwindens der betreffenden Membranen beigebracht werden.

Ueber die Zeit, wann zuerst die *Membrana pupillaris* bemerkt wird, liegen, für den menschlichen Fötus wenigstens, nur wenige und unsichere Angaben vor, welche für den dritten bis vierten Monat sprechen (Wrisberg, Held, Cloquet); wichtiger ist die neuerdings constatirte Thatsache, dass dieselbe existirt und die ganze vordere Linsenfläche überzieht, bevor noch die Iris entwickelt ist, und eine vordere Augenkammer besteht.

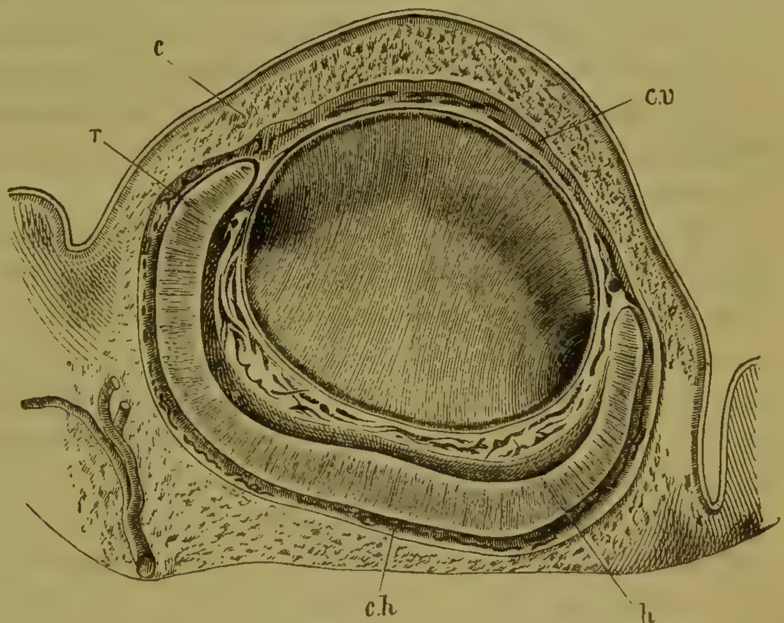
Gegen Ende der Gestation bildet sich, wie fast alle im Innern des Bulbus beim Embryo vorhandenen Gefässhäute, auch die Pupillarmembran zurück, indem ihre Gefässe sich verengen und die bindegewebige Unterlage atrophirt. Der Termin für das vollständige Verschwinden derselben scheint übrigens nicht unbeträchtlichen Schwankungen zu unterliegen; so erklären sich auch die verschiedenen Angaben der Beobachter, welche sich vom sechsten Monat bis zum Ende der Schwangerschaft erstrecken; doch wurde dieselbe auch in den ersten Monaten nach der Geburt noch oft genug aufgefunden: immerhin scheint der Regel nach der ausgetragenen menschlichen Frucht jene Haut zu fehlen. Ihre Reste in späterer Lebenszeit werden im pathologischen Theil Erwähnung finden.

Die eigentliche Ursache des Zugrundegehens dieser Gefässhäute ist uns zur Zeit noch unbekannt, denn die nun vervollständigte Anlage des choroidalen und retinalen Gefässsystems kann jenen Process ebensowenig erklären, als die teleologische Anschauung, dass sie nur für die werdende Linse, nicht aber für die völlig ausgebildete nöthig seien. Vielleicht sind es gewisse Contractionsvorgänge in der Iris, oder auch nur die durch die neuen Verhältnisse bedingte Entwicklung anderer, concurrirender Gefässsysteme, wie z. B. das der *Processus ciliares*, durch welche den früheren die Blutzufuhr nach und nach entzogen wird. Dass aber die mangelnde Blutzufuhr das Primäre ist, dem die Obliteration der Gefässe und die Verödung der Gewebe folgt, dürfte wohl mit Sicherheit daraus hervorgehen, dass unter den Fällen von sogenannter perseverirender Pupillarmembran blutführende Gefässe in derselben jedenfalls zu den grössten Seltenheiten gehören. Bald nach der Geburt dagegen ist mehreren Beobachtern die Injection von solchen gelungen (Jacob, Tiedemann, Henle). Cloquet, welcher die Pupillarmembran in ihrem gefässlosen Centrum sich spalten liess, meinte, dass der gefässhaltige Theil derselben allseitig nach der Iris sich zurückziehe, und hier deren kleineren oder inneren Arterienkreis bilde. Dieser Ansicht trat Henle mit mehreren Gründen entgegen, indem er nachwies, dass der *Circulus arter. int. s. minor* schon früher vorhanden sei, sowie auch die besagte Membran in ihrem Centrum keine gefässlose Stelle besitze. Nach Jacob tritt eine solche im fünften Monat auf, welche sich allmählich dadurch ausbreitet, dass die anstossenden Gefässe enger

werden und zu Grunde gehen, ohne dass aber, wie er glaubt, die Membran selbst damit verschwindet.

§ 10. Die gefässhaltige Linsenkapsel. Wir haben in einem früheren Abschnitt gesehen, wie die fötale Linse von allen Seiten von gefässführenden Abkömmlingen der Kopfplatten umschlossen wird, von welchen ein Theil gleich mit ihrer Einstülpung an ihre hintere Fläche gelangt, ein anderer Theil über der eingestülpten und abgeschnürten Linse zusammenwächst und sich zwischen sie und das Hornblatt eindrängt, ein dritter endlich durch die fötale Augenspalte in den Glaskörper und Sehnerven sich einschiebt und von hier aus die hintere Linsenfläche erreicht. Diese einzelnen Partieen bilden zusammen einen sehr gefässreichen Sack (*Tunica vasculosa lentis* Kölliker) um die Linse, dessen vordere Wand im Wesentlichen durch die *Membrana pupillaris* vertreten würde, wenn überhaupt schon eine Pupille vorhanden wäre. Die Gefässe der hinteren Kapsel sind die Verästlungen der sogenannten *Arteria hyaloidea*, welche anfangs aus einem unter dem Boden des Auges verlaufenden Gefäss entspringend schräg von innen nach aussen zieht und mehr und mehr in die fötale Augenspalte sich eindrängend, nach Verschluss derselben im Inneren des Bulbus sich befindet und als ein Zweig der Arterie des Sehnervs erscheint. Damit ist ein Haupttheil des Gefässsystems des Bulbus in diesen eingeschlossen, und hat, bei den Säugern wenigstens, die frühere Verbindung nach aussen durch den Boden des Auges für immer aufgehört: nicht so bei den Vögeln und Fischen, bei welchen der Pecten und *Processus falciformis* jene Communication auch für später aufrechterhalten.

Fig. 7.



Gefässanlage des fötalen Säugethierauges (nach Lieberkühn). *c* Anlage der Cornea. *cv* vordere Abtheilung des Gefässlagers. *ch* hintere Abtheilung desselben. *h* Gefässe des Glaskörpers. *r* Retina.

Die *Arteria hyaloidea* ist nie von einer Vene begleitet[1]), bis an die hintere Linsenkapsel meistens einfach[2]), und verzweigt sich erst in deren unmittelbarer Nähe. Die dichotomischen Theilungen folgen hier sehr rasch aufeinander, so dass sie wie von einem Punct auszugehen scheinen. Auch im weiteren Verlauf treten viele Bifurcationen ein, und wenn die Zweige den Linsenrand erreichen, sind sie schon sehr fein geworden, biegen jedoch um diesen auf die vordere Fläche

1) S. dagegen Liebreich im Capitel über Missbildungen.

2) Nach Lieberkühn (Ber. der Marb. naturf. Ges. Nov. 1873) gilt dies Verhalten nur für ältere Embryonen.

um, nehmen hier die Abkömmlinge der in der Gegend der *Zonula Zinnii* liegenden Gefässe (*Circulus Mascagnii*) auf und mit, und gelangen so endlich in die vor der Linse liegende nachmalige *Membrana pupillaris* und *capsulo-pupillaris*. In diese treten nun auch viele, und zwar stärkere Zweige aus der Anlage der Choroidea und späteren Iris ein, und anastomosiren mit den von hinten kommenden Reisern der *Arteria hyaloidea s. capsularis*, ohne aber, nach Henle's und Kölliker's (6 p. 294) Ansicht, eigentliche Capillarnetze zu bilden (siehe die nach einem Injectionspräparat von Thiersch gefertigte Zeichnung bei Kölliker).

Lieberkühn erklärt jedoch ein solches Verhalten nur für das Auge einiger Thiere, wie Hund und Katze, für richtig, bei anderen fand er nicht die dort gezeichneten Umbiegungen, sondern ein gewöhnliches Gefässnetz, aus welchem einige grössere Gefässe, höchstwahrscheinlich Venen, entstehen, welche das Blut in die Iris resp. Choroidea abführen. Alle die beschriebenen Verhältnisse gelten übrigens nur für die Säugethiere, nicht für die Vögel, denen, wie schon Haller und v. Baer fanden, und Kölliker (6 p. 297) auch für die hintere Kapsel bestätigt, eine gefässhaltige Linsenhülle nicht zukommt.

Die Scheidung der beiden vorderen Abtheilungen des gefässhaltigen Kapselsackes, die später als *Membrana pupillaris* und *capsulo-pupillaris* jede für sich entdeckt wurden, geschieht durch die Entwicklung der Iris, wie schon früher Kölliker ausgesprochen hat.

Mag man sich das vordere Ende der Choroidea in irgend welcher Verbindung mit der *Membr. pupill.* denken, so bringt es deren Lage vor der Linse und jene Verbindung mit sich, dass eine an ihrer Rückseite, zwischen ihr und der Linse hervorsprossende Membran dieselbe nach innen vor sich her treiben muss, so weit, als sie überhaupt reicht, d. h. bis zur Weite der Pupille. Dieser einwärts geschobene Theil ist eben die *Membrana capsulo-pupillaris*, welche mit der vorderen Fläche der Iris, d. h. mit ihrem von den auch die Choroidea gründenden Kopfplatten aus entstehenden Theil einerseits, und der auf die hintere Linsenfläche sich umschlagenden Partie des Gefässsackes andererseits, zusammenhängt (S. Z. Präp. No. 9).

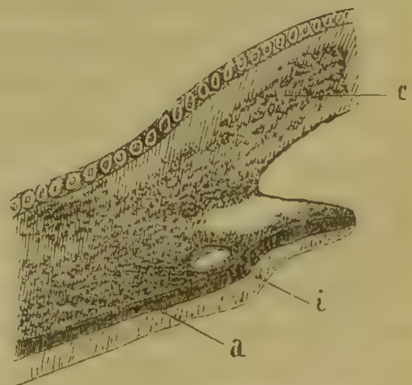
§ 11. **Entwickelung der Iris.** Die Iris ist, gegenüber den meisten anderen Gebilden des Augapfels, eine ziemlich späte Bildung. Ihre ersten Spuren zeigen sich beim Hühnchen am zehnten Tag (Kessler (21)), beim menschlichen Fötus nach ziemlich übereinstimmenden Angaben im zweiten bis dritten Monat. Arnold (8 p. 150) sah die ersten Anfänge bei Kuhembryonen von 4 Cm. Länge, an menschlichen von 26 Cm., der siebenten Entwicklungswoche entsprechend. Dieselbe erschien hier als eine pigmentlose, durchscheinende Membran, einen völlig geschlossenen Ring bildend, ohne Andeutung einer Spalte. Letzteres Verhalten war zuerst von Kieser beobachtet, von Späteren aber übersehen oder anders gefunden worden; es ist dasselbe natürlich für das Verständniss des Iriscoloboms von grosser Wichtigkeit, lässt sich aber, wie wir sehen werden, nicht umgekehrt aus dem pathologischen Befund erklären. Von den meisten Embryologen ist die Iris einfach als ein späterer Auswuchs der Choroidea angesehen worden (Henle, Kölliker, Hensen, Lieberkühn); Arnold (8 p. 151) dagegen deducirt die Entstehung derselben aus dem Verhalten der vorderen und langen Ciliararterien, durch ein Auswachsen derselben, wobei deren ringförmige Gestalt

durch die jenen Gefässen eigenthümlichen Bogenbildungen gegeben sei. In gewissem Grade bildet sich nach seiner Meinung die Iris unabhängig von der Aderhaut aus der membranartigen Entfaltung der ihr eigenen Gefässe, deren Verhalten dann auch etwaige Missbildungen zuzuschreiben sind. Die Färbung der Regenbogenhaut tritt nach demselben Autor erst um die achte Woche ein. Nach v. Ammon (13 p. 126) ist die fötale Iris, wenn auch ohne eigentliche Spalte, doch noch lange Zeit, selbst bis zum sechsten Monat, nach innen und unten, d. h. nahe der sogenannten Choroidealspalte etwas schmäler als an den anderen Seiten, und steht anfangs mit dem vorderen Ende der Choroidea nicht direct, sondern durch ein feinmaschiges Zwischengewebe in Verbindung, welches sich erst später mit Ausbildung des *Tensor choroideae* verdickt und diese inniger macht.

Die neuesten Untersuchungen haben nun zu dem wichtigen Resultat geführt, dass die Iris wohl, wie früher angenommen war, aus der Choroidea stammt, aber nicht allein aus ihr hervorgeht, sondern dass die secundäre Augenblase selbst an ihrer Bildung wesentlich sich betheiligt.

Wie aus der früheren Darstellung hervorgeht, ist die letztere zu der Zeit, da jene erscheint, schon völlig von einer Kapsel umschlossen, welche, in der Anlage wenigstens, in sich die Sclero-cornea sowie die Choroidea mit der Pupillarmembran enthält. Die beiden Blätter der secundären Augenblase haben sich bis zur Berührung genähert, lassen sich dagegen durch die nun fertige Pigmentirung des äusseren immer noch leicht voneinander unterscheiden. Das innere ist dem inneren Bau nach schon zur Retina geworden, ohne dass aber deren einzelne Elemente schon ausgebildet wären; an der vorderen Uebergangs- oder Umschlagsstelle soll sich die Pigmentirung vom äusseren sogar etwas auf das innere fortsetzen. Die fötale Augenspalte ist verschlossen, jedoch noch als ein pigmentloser Streifen am Boden des Auges erkennbar. Der vordere, freie Rand der Augenblase liegt ohngefähr dem Aequator der Linse gegenüber, nach Einigen bleibt er hinter diesem zurück, jedenfalls ist zwischen ihn und die Linse nun die gefässhaltige Kapsel eingeschoben. Gerade von dieser Stelle aus erfolgen die weiteren Veränderungen. Hatte schon M. Schultze das Irispigment der sogenannten Uvea als einen Abkömmling des inneren Blattes der (secundären) Augenblase erklärt, so wurde von Kessler neuestens auch das äussere Blatt dafür in Anspruch genommen. Nach ihm besteht die Iris bei ihrer Bildung aus drei heterogenen Lagen, von welchen die äussere aus den Kopfplatten, die mittlere aus dem äusseren, und die innere aus dem inneren Blatt der secundären Augenblase herstammt.

Fig. 8.



Entwicklung der Iris (Kessler (21) Fig. 3). *c* Hornhaut. *i* inneres Blatt, *a* äusseres Blatt der sec. Augenblase (vorderste Abtheilung ders. Z. Präp. No. 9.

Den Beginn der Irisentwicklung bezeichnet eine Verdünnung und zugleich Verlängerung der vordersten Abtheilung der secundären Augenblase, welche, da deren äusseres Blatt schon vorher, wie wir gesehen haben, auf eine dünne Schicht reducirt wurde, ausschliesslich dem inneren zufällt. Diese Verdünnung beginnt von einer bestimmten, in gleicher Entfernung vom Linsenäquator gelegenen Stelle, welche dadurch die Bedeutung eines

hervorstehenden Randes bekömmt, wodurch zugleich die innere Lamelle in eine vordere und hintere Abtheilung geschieden wird. Die letztere wird zur eigentlichen Retina, die vordere zur Iris und *Pars ciliaris ret.* Am zehnten Tag (beim Hühnchen) trennt eine sich erhebende circuläre Falte auch die beiden letzteren; in der Iris liegen nach Kessler beide Blätter noch als zwei Lagen des Irispigments unterscheidbar, in der hinter der Falte gelegenen Abtheilung bleiben zunächst noch die Zellen des inneren Blattes pigmentfrei, während die des äusseren die pigmentirte äussere Lage der *Pars ciliaris* bilden. Dies verhält sich so beim Vogel; etwas anders dagegen, wie Lieberkühn angibt, beim Säugethier. Bei diesem scheint sich nämlich die Differenz zwischen dem auswachsenden äusseren und inneren Blatt nicht zu erhalten, so dass in der Iris nicht zwei Zellenschichten zu trennen sind. Doch scheint dies ein nicht gerade wesentlicher Unterschied; das wichtigste ist, dass auch hier der aus den verschmolzenen Blättern hervorgegangene Pigmenttheil der Iris, die spätere sogenannte Uvea bis zum Pupillarrand nach vorne sich erstreckt, ja diesen sogar allein bildet. Zu gleicher Zeit aber ist die vordere bindegewebige Anlage der Iris schon vorhanden als Pupillarmembran, oder wenigstens deren peripherischer Theil; sie liegt jedoch noch in inniger Verbindung mit der Hinterfläche der Cornea als directe Fortsetzung der Kopfplatten, aus welcher nach rückwärts schon die Anlagen des *Corpus ciliare* und der Choroidea sich abgegrenzt haben. Der Anstoss zur Isolirung der Iris von der vorderen Bulbuswandung liegt somit eigentlich, wie dies auch Kessler ausspricht, in der Wucherung der secundären Augenblase, welche nach vorne einem den Kopfplatten entstammenden Ueberzug sich anschliesst. Bei manchen Säugethieren sind in die den Ciliarkörper bildenden Theile derselben reichlich ästige Pigmentzellen eingestreut, welche dann auch in der Pupillarmembran auftreten, während das beim Menschen nicht der Fall zu sein pflegt.

In gewissem Sinne hat sich also, neueren Forschungen gegenüber, die frühere Annahme, dass die Iris aus der Choroidea hervorwachse, bewährt, nur hatte man dabei den wichtigen Antheil, welchen die ursprüngliche Augenblase daran nimmt, entweder ganz übersehen oder doch zu gering angeschlagen, oder wohl auch an ein freies Hervorwachsen der Iris in einen Raum zwischen Linse und Hornhaut gedacht, welcher in jenem Stadium noch nicht existirt. Etwas verschieden von eben gegebener Darstellung sind die Sernoff'schen Beobachtungen (24), welche ihn veranlassten, die Iris als ein Product der Pupillarmembran anzusehen, so dass insbesondere deren Pupillarrand zuerst mit der Linsenkapsel vereinigt sei und erst später sich von ihr loslöse. Doch ist die an citirter Stelle enthaltene, darauf bezügliche Angabe zu aphoristisch, um sie weiter verwerthen zu können.

Der von den Kopfplatten gelieferte Theil der Iris besteht nun zumeist aus Gefässen, von welchen, wie wir gesehen haben, eine gewisse Zahl in die Pupillarmembran übergeht, hier ein ziemlich reichliches Netz bildet, und dann um den Pupillarrand umbiegend mit den von hinten kommenden Gefässen der hinteren Kapsel sich in Verbindung setzt. Schon sehr frühe wird an der Wurzel der Iris auf Durchschnitten ein ziemlich grosses Gefässlumen bemerkbar, offenbar einem hier liegenden Ringgefäss angehörig, in welches sich, seine venöse Natur vorausgesetzt, wahrscheinlich die in dem vorderen Iristheil verlaufenden Venen ergiessen, welche auch das Blut aus den Zweigen der *Arteria capsularis* in sich aufnehmen.

§ 12. Entwickelung des Corpus ciliare. Während die zelligen Elemente, welche von Seiten der beiden Blätter der secundären Augenblase die Iris bilden helfen, sehr frühe sich pigmentirt zeigen, ist das in dem hinter der erwähnten Ringfalte gelegenen Theil der verdünnten vorwachsenden Augenblase nicht der Fall; hier, wo nach Babuchin's (25) Angabe die innere Lamelle nur aus einer einfachen Lage spindelförmiger Körperchen besteht, welche nach Art eines Cylinderepithels senkrecht auf ihrer Unterlage, dem äusseren Blatte, stehen, verdicken sich diese Zellen wohl zu kurzen Cylindern, nehmen aber kein Pigment auf, wie das bei den mehr rundlichen des Iristheils der Fall ist. Dieses Pigment verräth seine von der der eigentlichen Choroidea verschiedene Abstammung auch während des späteren Lebens durch die von Rosow (26) hervorgehobene grössere Feinheit seiner Elemente, die ausserdem auch weniger stark contourirt sein sollen.

Worin der Anstoss zur Ausbildung der *Processus ciliares* liegt, ist noch nicht nachgewiesen, doch ist wahrscheinlich, dass derselbe von der secundären Augenblase, nicht aber von den umgebenden Kopfplatten ausgeht.

Kessler vermuthet als Grund der Faltenbildung Hindernisse, welche dem weiteren Vordringen der *Pars ciliaris* der Augenblase aus ihrer Verbindung mit den Kopfplatten oder aus einem Anstemmen des Umschlagrandes an der Linse erwachsen. Lieberkühn findet aber damit die Lage des vorderen Randes der Augenblase gegenüber dem Linsenrand nicht in Uebereinstimmung, indem zwischen beiden der vorderste Theil des Glaskörpers eingeschoben sei, ausserdem liegt jene Umschlagsstelle, wie ich auch an meinen Präparaten finde, eine Strecke weit vor dem Linsenrand. Die auf der vorderen Fläche derselben liegenden Verbindungen (*Membr. pupillaris* im weitesten Sinn) könnten aber immerhin jene vermuthete Beschränkung der Flächenausbreitung und dadurch die Faltenbildung veranlassen.

§ 13. Entwickelung der Choroidea. Ueber die Entwicklung der Choroidea sind unsere Kenntnisse noch etwas lückenhaft, doch haben die neueren Untersuchungen gelehrt, dass dieselbe mit dem pigmentirten Blatt der secundären Augenblase nichts zu schaffen hat. Gerade diese Pigmentirung hatte früher einen Zusammenhang dieser heterogenen Gebilde sehr nahe gelegt, und noch Remak hatte dieses Verhältniss dahin formulirt, dass jenes äussere Blatt der Augenblase zur Choroidea werde. Durch diesen Irrthum bildeten sich natürlich bei den Forschern sehr verschiedene Erfahrungen über das erste Auftreten der Aderhaut, welches von den Einen schon in eine ziemlich frühe, von Anderen in eine viel spätere Entwicklungsperiode gesetzt wurde.

So sucht Arnold (8 p. 146) den Beginn ihrer Bildung bei einem ohngefähr einmonatlichen Kuhembryo in Blutgefässen, welche durch den hinteren Theil der Augenblase eintreten, »welche ohne Zweifel durch ihre Entfaltung und netzartige Verflechtung an der einen Fläche derselben mit Hilfe eines zarten Zellstoffes die Aderhaut bilden«. Valentin (27) dagegen, welcher an ihr eine äussere und innere Gefässlage, dazwischen eine »Substanz- und Pigmentlage« unterscheidet, fand sie erst in der achten Woche; zuerst sei die »Substanzlage« vorhanden, zu der erst nachher die anderen hinzukämen. Es haben diese Angaben indess nur noch historisches Interesse, da sie auf die Grundlage der späteren Bildung eigent-

lich nicht eingehen, sowie auch dafür durch die vielfach hervorgehobene Analogie der Gehirn- und Augenhüllen, so interessant dieselbe an sich auch sein mag, nichts gewonnen wird. Während nämlich die Sclerotica der harten Hirnhaut parallel gesetzt, ja von Manchen als eine Ausstülpung derselben angesehen wurde, galt die Aderhaut als Analogon der Arachnoidea und *Pia mater*, und zwar sollte erstere in der sogenannten *Lamina fusca*, letztere in der eigentlichen Choroidea vertreten sein. Wie erwähnt, sind diese Vergleichungen nicht ohne Werth, namentlich auch für das Verständniss gewisser pathologischer Zustände; unsere genaueren Kenntnisse über die Bildung der fraglichen Membran beginnen jedoch erst da, wo dieselbe in Beziehung zu den bekannten Theilen der Augenblase gesetzt wurde. Remak (2 p. 72) unterscheidet (beim Hühnchen am fünften Tag) im äusseren Blatte der secundären Augenblase zwei Schichten: eine äussere pigmentirte und eine innere, deren Pigmentirung erst etwas später, und zwar in der Richtung von hinten nach vorne zu Stande komme. Diese beiden Schichten bilden die Uvea, d. i. *Stratum pigmenti* und eigentliche Choroidea, in welche übrigens schon frühe aus den umgebenden Kopfplatten Gefässe eindringen; das innere Blatt allein bildet dagegen die ganze Retina. So setzten sich Remak's Beobachtungen in Gegensatz zu denen Huschke's, welcher aus dem äusseren Blatt die Stäbchenschicht, aus dem inneren die übrige Retina hervorgehen liess. Im Wesentlichen schliesst sich ihm hierin Schöler an, wie auch A. Müller (28), welcher dann für die Choroidea dieselbe Grundlage annimmt, wie für die Sclerotica, nämlich die Kopfplatten. Die Entstehung zweier so differenter Membranen, wie Ader- und Netzhaut aus einer und derselben Grundlage musste schon an und für sich manches Bedenken erregen, doch hat erst Kölliker (6 p. 284) an Präparaten nachgewiesen, dass in einer frühen Entwicklungszeit des menschlichen Embryo (vier Wochen) das noch sparsam vorhandene Pigment nur in den innersten Theilen der äusseren Lamelle liege, und zwar nur in der vorderen Hälfte der Augenblase. Er schloss daraus, dass das äussere Blatt nicht zur Retina, sondern zur Choroidea gehört, aber nur deren Pigmentepithel abgibt.

Diese Auffassung fand mehrfache Bestätigung und gilt auch zur Zeit als die richtige, nur haben neuere histologische Erfahrungen dahin geführt, das Pigmentblatt nicht als einen Theil der Choroidea, sondern der Retina anzusehen, eine Anschauung, welche zuerst von Babuchin (29 p. 84) eingeführt wurde, der dabei ganz besonders den Umstand betont, dass die pigmenthaltigen Zellen des äusseren Blattes immer nur in einfacher Lage vorhanden seien, dass dieselben aber entweder durch gegenseitige Verschiebung oder durch eigenthümliche Formveränderung eine mehrschichtige Lagerung vortäuschen können. Derselbe Autor hebt auch Remak gegenüber hervor, dass niemals Gefässe in die äussere Lamelle übergehen, indem zwischen ihr und der Gefässlage sehr bald eine geschlossene Membran sich entwickle (primäre Glasmembran). Gegen diese Aufstellung eines *Pigmentum retinae* hat man aber aus der functionellen und histologischen Differenz desselben und der Retina von mehreren Seiten Einsprache erhoben, und M. Schultze (30 p. 377) hat den Vorschlag gemacht, das Pigmentepithel als eine besondere Schicht neben Choroidea und Retina aufzuzählen, während Kessler (21 p. 29) nur für die Zeit nach Entwicklung dieser und nur für den sie umhüllenden Theil jenes Epithels die Bezeichnung Retinalepithel zugeben will.

Das Wichtigste aber und der Entwicklungsgeschichte am besten Entsprechende ist jedenfalls das Ergebniss der neuesten Forschungen, dass die ursprünglich aus einem Gebilde der primären Augenblase hervorgehenden beiden Theile, das äussere und innere Blatt, auch in ihrer späteren Entwicklung als zusammengehörig erfunden wurden: ein Ergebniss, welchem man jedenfalls durch die Bezeichnung: Retinalpigment am meisten gerecht wird.

Der Erste, welcher genauere Angaben über die erste Anlage der Choroidea gemacht hat, ist Babuchin, und sind dieselben auch von den Späteren nur wenig erweitert, im Wesentlichen aber bestätigt worden.

Unter den zelligen Elementen, welche die Augenblase umgeben, und von denen Babuchin drei verschiedene Arten beschreibt, sind es vorzugsweise die sternförmigen und spindelförmigen, welche sich um den hinteren Theil jener anhäufen und in der Nähe des Pigmentblattes eine dichtere Lage bilden. Unmittelbar auf diesem liegt aber eine structurlose Schicht, welche wohl als die spätere elastische Lamelle anzusehen ist. Schon am dritten Tage liegen in der umgebenden Zellenmasse viele Gefässe, welche zunächst jener Glaslamelle, ohne sie aber je zu überschreiten, ein capillares Netz bilden, die Choriocapillaris. Auch beim Säugethier erkannte Lieberkühn (18) die anfängliche Gefässanlage der Choroidea in unmittelbarer Nähe des äusseren Blattes, ohne eine bestimmte Begrenzung nach aussen, da eine Trennung zwischen jener und der Sclerotica noch nicht eingetreten ist. Diese Gefässlage steht nach vorne in Verbindung mit der gefässhaltigen Linsenkapsel, somit auch mit den Gefässen des Glaskörpers. Die Stelle jener Verbindung ist schon frühe durch eine Verdickung ausgezeichnet, welche als Ausgangspunct der Pupillarmembran, sowie als Wurzel des gefässhaltigen Theiles der Iris angesehen werden kann. Es ist also, wie das Schöler (20 p. 31) beschrieben hat, um diese Zeit das Auge umgeben von einer Gefässlage, welche später in einzelne zum Theil schon genannte Abschnitte sich differenzirt und mit der besonderen Umhüllung der Linse zusammenhängt, nur ist diese das Auge ganz umschliessende Gefässschicht nicht als eine gleichmässig sich entwickelnde und aus ganz gleichen Anlagen hervorgehende Hülle zu betrachten, insofern als die Linsenkapsel, wie wir gesehen haben, beim Säugethier wenigstens, schon mit der Linseneinstülpung selbst erzeugt wird. Dieser miteingestülpte Theil der Kopfplatten, der vor der Linse sich schliessende derselben, die durch die fötale Augenspalte hereinwuchernden Partieen, sowie endlich die den hinteren Augenumfang umschliessenden Massen, alles Abkömmlinge der Kopfplatten, sind die verschiedenen, auch zu verschiedenen Zeiten sich entwickelnden Componenten der später als hintere Gefässlage der Cornea, *Membrana pupillaris* und *capsulo-pupillaris*, gefässhaltige Linsenkapsel und Choroidea sich darstellenden Gefässhäute des fötalen Auges.

Die Choriocapillaris ist somit die erste Anlage der letzteren, ihre anderen Schichten und Elemente entwickeln sich erst viel später, so dass selbst bei mehrmonatlichen menschlichen Früchten noch viel »Rohmaterial« darin vorhanden ist. So tritt das Pigment in der Choroidea erst viel später auf, und nicht in der raschen Ausbreitung, wie im äusseren Blatt der Fall war, sondern es geschieht das sehr allmählich, und ist auch mit der Geburt noch bei weitem nicht abgeschlossen, ja sehr häufig noch sehr wenig fortgeschritten. Dasselbe ist ferner von Anfang an an die Existenz sehr deutlich erkennbarer Zellen gebunden,

welche ganz allmählich damit beladen werden. Alle Autoren stimmen überein, dass die erste Anlage der Choroides pigmentlos sei; M. Schultze fand sie so noch bei Schaafembryonen von 7 Cm.; Kölliker bei einem vierwöchentlichen menschlichen Embryo; Ritter die ersten Anfänge der Pigmentirung bei einem Fötus der zehnten Woche; ich selbst habe davon bei hirnlosen Missgeburten von verschiedenem Alter nur Spuren gefunden.

In den späteren Schwangerschaftsmonaten besitzt die Aderhaut eine beträchtliche Dicke, welche vielleicht einem nicht geringen Gehalt an fibrillären Bindegewebe zuzuschreiben ist, wie man ihn beim Erwachsenen nicht zu finden pflegt; zwischen den Fibrillenbündeln habe ich bei meinen frühern Untersuchungen viele »spindelförmige« Zellen eingestreut gefunden, die nach den neuesten histologischen Beobachtungen vielleicht anders bezeichnet werden würden. Besonders gross und mit reichlichst verästelten Fortsätzen versehen sind die eigentlichen Stromazellen, welche später Pigment aufnehmen; sie besitzen häufig mehrere Kerne und sehr zarte Contouren. Das, elastischem Gewebe so ähnliche, fasrige Gitter der entwickelten Choroidea fand ich beim Embryo wenig ausgesprochen, die Grundsubstanz zeigte vielmehr ein homogenes Aussehen.

§ 14. Entwickelung der Retina. Schon die älteren Embryologen waren darüber nicht in Zweifel, dass die erste Anlage des Sehorgans, die primäre Augenblase, sich in den Theil desselben umbilde, welcher als der nervöse betrachtet werden muss, der der eigentlichen Function desselben vorsteht. Der unmittelbare, lange Zeit hindurch deutlich erkennbare Zusammenhang der Augenblase mit der Gehirnblase einerseits, die Lage und äussere Beschaffenheit der fötalen Retina andererseits lieferten für die allgemeine Auffassung die Stützen, bevor man noch erkannt hatte, dass geraume Zeit hindurch die Structur beider Blasenwandungen eine durchaus analoge sei. Aber auch für spätere Entwicklungszustände wurde jene Analogie festgehalten, so für die Ausbildung der die Blasen umgebenden Hüllen, sowie für gewisse Spaltbildungen: fötale Augenspalte und die Spalte des Medullarrohrs (untere Naht der Rückenmarksblätter v. Baer). Während dann aber die meisten Forscher die Retina aus der Wandung der Augenblase direct hervorgehen lassen, betrachten sie andere gewissermaassen als Anlage für den Bulbus überhaupt, auf deren Innenfläche jene sich absetzen sollte. So spricht v. Ammon (13 p. 93) von ihr als einem zur Membran verdichteten, in der Augenblase enthaltenen Hirnwasser, Arnold lässt sie durch eine Entfaltung der *Art. centralis retinae* entstehen, welche die Ablagerung der Nervenmasse vermittle. Alle neueren Untersuchungen haben bestätigt, dass aus den Wandungen der secundären Augenblase direct die Retina und das sie nach aussen überziehende Pigmentepithel sich herausbilden; über die Art und Reihenfolge aber, in welcher aus der ursprünglichen cellulären Anlage die späteren Elemente und Schichten sich »differenziren«, sind freilich auch jetzt unsere Kenntnisse noch ziemlich unvollständig. Vor Allem ist hier, die menschliche Retina anlangend, der grosse Mangel des aus der ersten Entwicklungszeit herstammenden Materials zu beklagen, da bis jetzt nur eine sehr geringe Zahl von menschlichen Fötusaugen aus einer frühen Entwicklungsperiode in einem Zustande zur Untersuchung kam, der nach diesen histogenetischen Details zu forschen erlaubte, welche auch nach völliger Entwicklung noch zu den schwierigsten mikroscopischen

Aufgaben gehören; man wird sich daher nicht wundern, wenn auch unter den Ergebnissen der neuesten, übrigens sehr fruchtbaren Beobachtungen noch manches Unvollständige und Widersprechende sich findet.

Was zunächst die gröberen anatomischen Verhältnisse der fötalen Netzhaut betrifft, so fällt ihre grössere Flächenausdehnung, sowie ihre Dicke, auf; dieselbe reicht nämlich anfangs gerade soweit nach vorne, wie die beiden Blätter der secundären Augenblase, d. h. bis zum, ja sogar etwas über den Linsenrand, wobei sich, wie oben erwähnt, der vorderste Theil des Glaskörpers zwischen beide einschiebt; diese vordere Endigung ist dann nicht, wie später eine feine Membran, sondern eben der bekannte dicke Umschlagsrand der beiden Blätter. Eine weitere Vergrösserung der Fläche wird dann durch verschiedene Falten erzeugt, welche in der Fötusnetzhaut selbst noch zur Zeit der Reife manchmal gefunden werden, in früheren Stadien aber zu mehreren regelmässig sich finden. Eine derselben, die übrigens nur beim Vogel und Fisch in bestimmter Grösse vorkommt, hat eine besondere Bedeutung für die fötale Augenspalte; die anderen sind variabel an Grösse und Zahl, stehen aber strahlenförmig um die Eintrittsstelle des Sehnerven. Die Falten erheben sich übrigens erst nach der Bildung des Glaskörperraums, der durch sie natürlich sehr beengt wird. Betrachtung der Netzhaut von ihrer äusseren Fläche aus zeigt, dass es sich um wirkliche Faltungen handelt, da hier ebensoviele Eindrücke (*Impressiones semilunares*: v. Ammon) vorkommen, als auf der inneren Fläche Erhebungen: man hat auch hierin eine Analogie mit den Hirnwindungen finden wollen (v. Ammon). Von besonderer Wichtigkeit ist der bedeutende Dickendurchmesser der fötalen Retina, der sich im Anfange auf ihre ganze Ausdehnung, wenn auch nach vorne etwas abnehmend, erstreckt, später aber allerdings nur für deren hinteren Theil gilt. Nach Valentin verhält sich in der zehnten Woche die Dicke der Retina zum Durchmesser des Auges wie 1 : 8, beim Erwachsenen wie 1 : 25—30. Kölliker fand bei einem vierwöchentlichen menschlichen Embryo die Retina zu 0,5 Mm., das Auge selbst 2,3 Mm., obiges Verhältniss mithin zu 1 : 4,6.

§ 15. Veränderungen der fötalen Augenspalte. Einen sehr wichtigen Punct in der ersten Erscheinung der Netzhaut macht die Spalte derselben aus. Wir haben ihr Zustandekommen schon früher besprochen und gesehen, dass es sich, entgegen der Behauptung früherer Autoren (z. B. v. Baer), um eine wirkliche Spalte in der Wand der secundären Augenblase handelt, aber um eine Trennung, welche beide Blätter derselben an derselben Stelle trifft, so dass nicht nur um die Linse herum, sondern am Boden jener Blase eine Oeffnung in das Innere dieser, aber nicht der primären, existirt. Diese Spalte ist anfangs sehr breit, aber wegen der weitvorgreifenden Insertion des Opticus resp. Augenblasenstiels sehr kurz; sie ist dreieckig, ihre Basis gegen den Linsenrand, die Spitze gegen den Sehnerven gekehrt. Durch das weite Auseinanderstehen der Spaltränder gewinnt die secundäre Augenblase das Aussehen einer Haube oder eines Löffels, dessen Aushöhlung sich aber auch noch eine Strecke weit auf den Stiel fortsetzt.

Beim Säugethierembryo hat diese Spalte nur eine kurze Dauer, sie ist eine völlig transitorische Bildung, während sie bei anderen Thierklassen bleibenden Antheil an späteren Organen nimmt, welche jenem fehlen, als da sind: bei

den Vögeln der Pecten, bei den Fischen der *Processus falciformis*; ihre Entstehung verdankt sie aber in allen Thierklassen demselben Vorgang, nämlich dem Eindringen von parablastischen Elementen (His) oder Theilen der Kopfplatten in das Innere des Auges. Diese haben wir theils als Anlage des *Corpus vitreum*, theils als sehr wichtige Gefässanlagen schon kennen gelernt, welche im fötalen Auge eine weit grössere Ausbreitung besitzen als später (vergl. § 6). Bevor man mit diesen Verhältnissen näher vertraut war, musste die fötale Netzhautspalte natürlich zu allerlei irrthümlichen Erklärungen Veranlassung geben. So fasste Bischoff (31 p. 216) dieselbe eigentlich nur als die spaltförmige Einmündung des hohlen, aber von der Seite abgeplatteten Sehnerven in die Augenblase, welche im Anfange sich weit nach vorne erstrecke, später aber sich mehr nach hinten zurückziehe. Bei den Fischen reichen, wie Schenk (17) gefunden hat, die Ränder der Spalte, indem sie sich nach innen umschlagen, bis zur Linse, und führen so eine Gefässanlage dahin, die zum *Processus falciformis* und zur Campanula wird. Bei den Vögeln drängt sich durch dieselbe ebenfalls ein Theil der Kopfplatten, insbesondere Zweige eines am Boden des Sehorgans verlaufenden Gefässes herein, welche die eigenthümliche Bildung des Kammes veranlassen (18). Es findet also auch hier nicht, wie man früher glaubte, ein späteres Durchbrechen der Choroidea durch die Retina statt, sondern, wie das neuestens Lieberkühn gezeigt hat, es ist der hintere Theil der fötalen Augenspalte, durch welche hindurch auswärtige Elemente eindringen und deren völlige Schliessung verhindern, während diese für die vordere im Bereich der *Pars ciliaris ret.* liegende Abtheilung erfolgt.

Beim Säugethierauge hat der Augenspalt seine Rolle früher ausgespielt, die Ränder legen sich sehr bald aneinander, und nur ein pigmentloser Streifen erinnert an seine frühere Existenz. Dieser Streifen gehört aber zunächst nicht der eigentlichen Choroidea an, sondern nur dem äusseren Blatte der secundären Augenblase, dessen Pigmentirung an dieser Stelle noch eine Zeit lang ausbleibt. Immerhin kann dieser Zustand seinerseits ein bleibender werden, und gewiss auch zu Störungen in der Ausbildung der Aderhaut und Sclerotica Veranlassung geben, worauf wir im teratologischen Theil näher eingehen müssen.

Im zweiten Monate der Entwicklung des Säugethierauges ist die Spalte verschwunden, auch die Pigmentirung in der Regel vollständig, und nur eine in ihrer Richtung verlaufende grössere Netzhautfalte, welche sich manchmal bis in die spätere Zeit erhält, bezeichnet ihre Lage. Wie diese Falte zu Stande kommt, ist uns nicht genauer bekannt: mit dem Pecten der Vögel darf sie selbstverständlich nicht verglichen werden. Nach v. Ammon findet die Schliessung in der Richtung von vor nach rückwärts statt, so dass der letzte Rest derselben am Opticus läge; doch scheint auch nach seinen Angaben jener Vorgang in verschiedener Zeit sich zu vollziehen, da er für den fünfmonatlichen Embryo bemerkt, dass ein Loch als Ueberbleibsel der Retinalspalte bald vorhanden sei, bald nicht (13 p. 30).

§ 16. **Histologische Entwicklung der Retina.** Für die weitere histologische Entwicklung der Retina haben menschliche Embryonen bis jetzt noch wenig brauchbares Material geliefert: unsere genauesten Nachrichten darüber beziehen sich auf die Augen der Vögel und Batrachier, doch wissen wir von Säugethieraugen wenigstens soviel, dass jener Bildungsprocess im Wesent-

lichen für alle Thierklassen der gleiche ist. Einige Details sind uns zur Zeit überhaupt noch unbekannt, insbesondere konnten die neuesten histologischen Beobachtungen über Endigungen der Sehnervenfasern u. A. bis jetzt von der Entwicklungsgeschichte nicht verwerthet werden. Der Erste, dem wir genaue und ausführliche Forschungen über die histologische Differenzirung der Retina verdanken, ist Babuchin (25), und zwar sind dieselben am Frosch, Salamander und Hühnchen angestellt.

In den ersten Tagen besteht bei diesen Thieren die Netzhaut, d. i. die innere Lamelle der secundären Augenblase, aus einer einzigen Sorte von Elementen, welche jedenfalls auch schon Umformungen der ersten histologischen Anlagen sind, nämlich aus dichtgedrängten, mehrfach übereinandergelagerten, sehr zarten, spindelförmigen Zellen, welche auf der Fläche der Lamelle senkrecht stehen, und, wie jener Autor angibt, die ganze Dicke derselben durchlaufen, so dass die scheinbare, übrigens immerhin unregelmässige Schichtung nur dadurch zu Stande käme, dass der mittlere verdickte Theil der Zellen in verschiedener Höhe liege. Ausser diesem letzteren und den beiden nach aussen und innen gerichteten feinen Fortsätzen sind die Zellen durch keine weiteren Eigenschaften characterisirt, höchstens erscheint jener feinmoleculär, die Fortsätze homogen; Hülle oder Kern sind nicht wahrzunehmen. Letzterer scheint übrigens doch bald sich zu zeigen, wenigstens findet man an sehr jungen Säugethierembryonen, wo die Zellen selbst noch äusserst zarte Contouren haben, doch schon rundliche, ziemlich grosse Kerne, welche ohngefähr in der Mitte der Zelle liegen; deren Material selbst ist äusserst zart, eine ganz feine und sparsame Granulirung wohl mehr artificiell. Die Fortsätze sind nie ganz zu isoliren, da sie sehr gewöhnlich nahe dem Kern abreissen. Die erwähnte Lagerung der Spindeln bewirkt die schwach aber schon frühe bemerkbare feine radiäre Strichelung der ganzen Schicht, wie eine solche auch die Wandungen der Gehirnblasen zeigen (Boll (32)).

Zu dieser Zeit und auch noch lange nachher ist die embryonale Retina gegen das äussere Blatt hin durch einen scharfen, noch glatten Contour abgegrenzt, der Ausdruck der *Limitans ext.*, wodurch sich auch die leichte Trennbarkeit beider Blätter erhält, wenn längst der letzte Rest der primären Augenblase verschwunden ist.

Gegen Remak, welcher die Ausbildung der Stäbchenschicht an den Anfang gesetzt hatte, haben die neueren Forschungen ergeben, dass jene als der Schluss des ganzen Entwicklungsvorganges anzusehen ist (Babuchin, M. Schultze).

Nach M. Schultze entwickeln sich Stäbchen und Zapfen bei Thieren, welche blind geboren werden, sogar erst nach der Geburt, eine Angabe, welcher übrigens von Krause (33 p. 33) direct, und zwar zum Theil unter Beziehung auf die Beobachtungen von Hensen (34) und Steinlin (35) an der neugeborenen Katze widersprochen wird. Nach Babuchin treten zuerst in bestimmt erkennbarer Form die Stützfasern der Retina auf, und zwar hauptsächlich durch die Veränderungen ihres inneren Fortsatzes, welcher, sich verbreiternd, zu einem dreieckigen Füsschen wird, welches über die innere Fläche der Membran hervorwächst und hier an die *Limitans interna* anstösst. Wir kennen durch die neuesten Arbeiten von Retzius (36) die spätere Structur dieser »Füsschen« nun genauer, und begreifen leicht, wie aus derselben die *Limitans int.* entsteht und jetzt erst der Netzhaut eine eigene bestimmte Grenzhaut nach Innen, welche dem inneren Blatt

bisher fehlte und nur durch die Grenzmembran des Glaskörpers ersetzt war. Der Kern der zur Müllers'chen Faser sich ausbildenden Zelle rückt nach Babuchin aus deren Axe heraus, was übrigens jedenfalls nicht für alle gilt.

Fast gleichzeitig mit der Entwicklung der Stützfasern treten auch die Nervenzellen auf, und zwar unter Theilung der der inneren Retinalfläche nahe liegenden Zellen, Abrundung der neuen, Vergrösserung ihres Kerns, welcher von einem hellen Hof umgeben wird. Auch andere Beobachter fanden die Ganglienzellen so frühe, M. Schultze bei einem Rindsembryo von 14 Cm. Länge.

Ritter unterschied bei einem vierwöchentlichen menschlichen Embryo schon mehrere Arten von Zellen, worunter eine, welche er wegen grosser Uebereinstimmung mit den zelligen Elementen des Gehirns für Ganglienzellen anspricht. Dieselben hatten einen Durchmesser von 0,008 Mm., eine Membran (?), scharf begrenzten Kern mit Kernkörperchen, ferner mehrere Fortsätze, die von der Membran ausgehen (?) und doppelt contourirt sind; zuweilen findet sich ein mit Varicositäten versehener Fortsatz. Bei einem zehnwöchentlichen Embryo (37 p. 77) waren die Nervenzellen noch ziemlich klein, meistens von dreieckiger Gestalt, mit drei Fortsätzen versehen, eine Form, welche allerdings eine Verwechslung mit den obenerwähnten inneren Enden der Stützfasern sehr nahe legt. Nervenfasern sah Ritter bei diesem Embryo nicht, während deren frühe Anwesenheit bei Vögeln, Batrachiern und Säugern von anderen Beobachtern constatirt ist. Bei einem 25 Mm. langen Schaafembryo fand ich die Retina noch ohne eigentliche Schichtung, zum grössten Theil aus spindelförmigen Zellen mit rundem, granulirtem Kern bestehend, von welchen ein centraler und peripherischer Fortsatz ausging. Zwischen diesen Zellen lagen eigenthümliche rundliche Gebilde mit doppeltcontourirtem Rand, ohne Kern von 0,0126 Mm. Durchmesser. Diese waren jedoch nur im äusseren Abschnitt der Netzhaut vorhanden, im inneren noch schmälere spindelförmige, sowie grössere, rundliche zunächst der *Limitans interna*. Diese innerste Lage zeigt eine der Retinalfläche parallele Streifung, deren Componenten (Opticusfasern) jedoch nicht zu isoliren waren. Bei einem Schaafembryo von 17 Mm. Länge waren die Differenzen zwischen den einzelnen zelligen Elementen noch weniger ausgesprochen, doch sah man verschiedene Formen, darunter dicke Spindeln mit einem kurzen Fortsatz zur *Limitans ext.* und einem längeren nach innen gerichteten. Beim Hühnchen fand Babuchin schon an fünf- bis sechstägigen Embryonen ganz ausgebildete Ganglienzellen mit mehreren Fortsätzen, worunter einige nach aussen verlaufende und hier mit kleinen Zellen sich verbindende. Eine gut entwickelte Nervenfaserschicht fand er schon am siebenten Tage, während Gray (38) dafür erst den 14. bis 15. festgesetzt hatte. Die Nervenfasern entstehen nach seiner Meinung aus den Fortsätzen der Ganglienzellen und wohl auch aus den hereinwachsenden Opticusfasern.

Später als die erwähnten Elemente differenziren sich die Körnerschichten und die Molecularschicht. Nach M. Schultze müssten wir die letztere als eine Production der Müller'schen Fasern ansehen, welche Auffassung übrigens neuerdings mehrfachen Widerspruch erfahren hat. Nach Babuchin zeigt sie sich, ebenso wie die analoge Zwischenkörnerschicht, zuerst als ein schmaler homogener Streifen, welcher die zelligen Retinalelemente der Quere nach durchsetzt und als Zwischensubstanz zu betrachten ist, aus welcher Babuchin auch die bei-

den Limitantes hervorgehen lässt, was, wie wir sahen, für die Interna jedenfalls nicht gilt.

Die Molecularschicht wächst sehr rasch (viel rascher als die äussere granulöse Schicht), und zwar nach innen und aussen, enthält anfangs einzelne Zellen, die später zu Grunde gehen; bei den Vögeln erfolgt das Wachsthum schichtweise, daher die bekannte Streifung; an ihrer inneren und äusseren Grenze findet sehr lebhafte Zellenvermehrung statt. Die Grundlage der moleculären Schicht ist nach Babuchin eine homogene Substanz, welche von den Zellen ausgeschieden wird und in welche erst später die feinen Granula eingetragen werden: ein Zusammenhang mit den Müller'schen Fasern wird von ihm in Abrede gestellt; dagegen treten viele Zweige dieser in die äussere Körnerschicht und bilden hier ein netzförmiges Stroma. Nach diesem Autor fällt die Sonderung der inneren und äusseren Körnerschicht mit der der molecularen Schichten zusammen. Beim Hühnchen beginnt dieselbe ohngefähr am neunten Tag; beim Frosch, und noch mehr beim Säugethier geht aber die letztere Bildung jener um ein beträchtliches voraus; auch M. Schultze fand bei Schaafembryonen von 14 Cm. nur Faser-Ganglienzellen und Molecularschicht unterscheidbar, die von der äusseren und inneren Körnerschicht noch nicht genau zu trennen waren. Ritter fand die Elemente der Körnerschichten, welche ebenfalls noch keine Unterabtheilung zeigten, als ziemlich gleiche, rundliche Zellen mit zwei in entgegengesetzter Richtung abgehenden feinen Fortsätzen, alle aber eines Kernes ermangelnd; neben diesen rundlichen Körnern fanden sich auch längliche, welche offenbar den Stützfasern angehörten. Das Vorhandensein zweier, die ganze Dicke der Retina durchsetzenden Ausläufer an den Körnern bestätigt Babuchin (39 p. 141) in seiner zweiten Mittheilung für alle von ihm untersuchten Säugethiere, und kann man sich von dieser Thatsache bei Fötusaugen ziemlich leicht überzeugen: in späterer Zeit, bei grösserer Verdichtung der Molecularschicht, ist das nicht mehr so leicht der Fall, nur die der äusseren Oberfläche der Retina anliegenden Zellen sollen einen äusseren Faden entbehren, da aus ihnen erst später ein Fortsatz sich entwickelt, der zum Stäbchen wird. Eine Vereinigung von Ausläufern übereinanderliegender Zellen wird zwar durch das spätere Verhalten wahrscheinlich, ist jedoch nicht direct mit der erforderlichen Sicherheit beobachtet worden, wesshalb auch die naheliegenden Vermuthungen über das Zustandekommen des späteren Zusammenhangs ziemlich werthlos sind. Doch bemerkte in dieser Beziehung Babuchin (29 p. 77), dass bei der Theilung einer Zelle (in Froschlarven) die eine Tochterzelle der äusseren, die andere der inneren Körnerschicht zufalle, ohne dass deren Zusammenhang ganz gelöst wird. Welche Umänderungen, namentlich innere, die embryonalen Retinazellen erfahren, wenn sie zu sogenannten Körnern werden, ist noch nicht bekannt, insbesondere nicht das Loos, welches dabei dem Kern zu Theil wird.

Für die Entwicklung der äusseren Netzhautschichten haben uns die neuesten Forschungen ziemlich übereinstimmende Nachrichten gebracht, wenn auch hier noch mancher Widerspruch besteht. Vor Allem steht fest, dass Stäbchen und Zapfen zu den letztgeschaffenen Gebilden des Auges gehören, namentlich scheint ihre Bildung bei den Säugern an das Ende der Gestation zu fallen. Für menschliche Embryonen haben wir hierüber zwar nur eine von Ritter herrührende Angabe, welche jenen Erfahrungen widerspricht, und Stäbchen und Zapfen mit

allen von ihm ihnen zugeschriebenen Attributen schon bei einem zehnwöchentlichen Fötus, ihre Anfänge sogar schon bei einem solchen von vier Wochen beschreibt. Die Säugethiere betreffend fand M. Schultze (19 p. 245) davon bei jüngeren Thierembryonen nichts, erst bei fast ausgetragenen schon behaarten, und auch hier waren dieselben noch viel kürzer und feiner als bei erwachsenen Thieren. Am genauesten verfolgt ist ihre Entwicklung beim Hühnchen. Hier ist noch am achten und selbst neunten Tage die *Limitans externa* völlig glatt, erst am zehnten treten auf deren äusserer Fläche zarte halbkuglige Erhabenheiten auf, welche zuerst einander bei weitem nicht berühren. Während diese Prominenzen zunehmen, entwickeln sich aus der grobkörnigen, zwischen ihnen liegenden Substanz ebenfalls Hervorragungen von etwas geringeren Dimensionen. Jene halbkugligen Auswüchse werden nun allmählich kegelförmig und erhalten die kugligen Einlagen, welche später zu den bekannten gefärbten Oeltröpfchen der Vogelretina werden, die weitere Entwicklung und Färbung derselben, die uns hier nicht näher interessirt, gehört den letzten Brüttagen an. Wichtig ist dagegen auch für die Säuger die Ausgleichung der Grössenunterschiede zwischen den grösseren und kleineren Höckern, so wie die Productionen ihrer äusseren Enden. Diese zeigen nämlich für beide wesentliche Verschiedenheiten; die einen sind feine kurze Spitzen, welche auf den gefärbten Kugeln aufsitzen und die späteren Aussenglieder der Zapfen darstellen; aus den ursprünglich grösseren Höckern, den späteren Stäbchen dagegen, wachsen cylindrische Protuberanzen, welche in der Flächenansicht als kleinere Kreise in den grösseren erscheinen. So haben wir denn alle Theile der Stäbchen und Zapfen angelegt: die ersten und grösseren Hervorragungen auf der *Limitans ext.* werden zu den Innengliedern. deren cylindrische Aufsätze zu den Aussengliedern der Stäbchen, die kleineren Prominenzen mit der kurzen Spitze zu den zwei Gliedern der Zapfen. Mit dieser von M. Schultze herrührenden Darstellung stimmen auch die anderen neueren Beobachter, sowie auch die bei anderen Thieren gewonnenen Resultate im Wesentlichen überein: so fand schon Babuchin, dass aus den Zellen, welche die äusserste Lage der Retina bilden, und aus denen somit auch die äussere Körnerschicht zusammengesetzt ist, auch die Stäbchen und Zapfen hervorgehen, wie schon Kölliker (40 p. 666) bei Froschlarven beobachtet hatte; beide Organe sind Verlängerungen von Zellen, bilden im Zusammenhang mit ihren Körnern ein untrennbares Ganze. Auf die getrennte Genese von Innen- und Aussenglied, sowie auf die als Basis für die neuen Gebilde schon vorhandene *Limitans ext.* nimmt die Babuchin'sche Darstellung noch wenig Rücksicht. Die Stäbchen- und Zapfenfäden sind natürlich centripetale Ausläufer der ehemaligen Zellen.

Eine nicht unwesentliche Differenz lag in der von Hensen vertretenen Ansicht, dass die Aussenglieder der Stäbchen aus den Pigmentzellen, also aus dem äusseren Blatte hervorgehen, eine Behauptung, welcher jedoch von M. Schultze neuerdings widersprochen wird, welcher den von Hensen als Anlage der Stäbchen gedeuteten hellen inneren Saum der Pigmentzellen, resp. deren Strichelung als nur durch radiär streifige Anordnung der Pigmentkörnchen entstanden erklärt. Derselbe fand bei Katzen acht bis neun Tage nach der Geburt, zur Zeit, da die Augenlider sich lösen, die Aussenglieder von der Pigmentlage leicht trennbar, noch sehr kurz (4 Mikr.), aber schon die Plättchenstructur zeigend. Die Zahl dieser Plättchen nimmt später zu, während ihre Dicke die gleiche bleibt: ganz ebenso war es beim

Kaninchen. Schon der feste Zusammenhang zwischen Aussen- und Innengliedern, der sich dabei zeigt, spricht gegen die Herkunft jener aus dem Pigmentepithel, vielmehr für eine Entstehung derselben durch Verlängerung der Innenglieder.

Dieser letzteren Auffassung schliesst sich nach eigener Beobachtung auch W. Krause (33) an, betrachtet jedoch die Stäbchen und Zapfen als solide Auswüchse der soliden *Limitans ext.*, somit nur als Cuticularbildungen, welche mit den nervösen Bestandtheilen der Retina in keiner Verbindung stehen; dabei stimmt er auch bezüglich des Wachsthums jener Gebilde nicht mit M. Schultze überein, sondern findet das ursprüngliche Grössenverhältniss zwischen Innen- und Aussengliedern den späteren völlig entsprechend. Die sogenannte Querstreifung der Stäbchenkörner, welche übrigens von M. Schultze als Leichenerscheinung erklärt wird, beobachtete er beim Kaninchen am dritten Tag nach der Geburt.

Auch M. Schultze ist geneigt, die Stäbchen und Zapfen als Cuticularbildungen anzusehen, wenn auch in etwas anderem Sinne als W. Krause, »nämlich als eine einseitige Zellenausscheidung einer vom Protoplasma verschiedenen Substanz«, während die *Limitans ext.* als zum bindegewebigen Stützgewebe der Retina gehörig nicht wohl für eine Cuticula im engeren Sinn angesehen werden kann.

Mit der Trennung der beiden Körnerschichten, dem Auftreten der molecülären Lage ist auch die spätere Schichtung der Retina angelegt, und zwar erfolgen alle die beschriebenen Vorgänge in der Richtung vom hinteren Theil des Auges nach dem vorderen. Wir haben jedoch schon gesehen, dass dieselben durchaus nicht auf das ganze innere Blatt sich ausdehnen, sondern dass die vorderen theils vor dem Linsenrand, theils in dessen Nähe liegenden Abschnitte ganz andere histologische Veränderungen durchmachen, auf welchen die Entwicklung der Iris und des *Corpus ciliare* beruhen, so dass man zwei wesentlich verschiedene Abtheilungen des neugebildeten inneren Blattes unterscheiden muss, von welchen nur die hintere als Netzhaut bezeichnet werden darf, wobei aber doch ein Theil der letzteren auch auf den vorderen Abschnitt sich fortsetzt, d. i. die *Limitans interna*, welche bis zum Pupillarrand nach vorne reicht und die hintere Grenzmembran der Iris bildet. Aber auch im hinteren Abschnitt ist die Entwicklung nur eine Zeit lang eine überall gleichmässige, da in der zweiten Hälfte des Embryolebens der vordere Theil der Netzhaut schon im Dickenwachsthum zurückbleibt und ausserdem viel einfachere Structurverhältnisse in sich entwickelt. Es ist das die *Pars ciliaris retinae*, welche, wie bekannt, keine nervösen Elemente mehr enthält, sondern im Wesentlichen nur eine Fortsetzung des Gerüstes der Retina vorstellt, wofür sie auch schon H. Müller erklärt hat. Die Trennung zwischen dieser unvollständigen und der vollkommen entwickelten Retina ist jedoch keine scharfe, es besteht nur ein allmähliches Aufhören der einzelnen Netzhautelemente, bis zuletzt nur eine einschichtige Zellenlage übrig bleibt, welche wie ein Cylinderepithel aussieht und sich sehr den einfachen Umformungen nähert, die wir für den vorderen Abschnitt des inneren Blattes schon kennen gelernt haben. Lieberkühn (18 p. 330) beschreibt vom Hühnchen eine das ganze *Corpus ciliare* sowie die hintere Fläche der Iris überziehende einfache Lage heller Zellen, welche deutlich voneinander getrennt sind und Kerne besitzen, und welche »unter stetiger Zunahme der Höhe ziemlich plötzlich in die *Ora*

serrata übergehen«: es überzieht also die *Pars ciliaris retinae* das ganze *Corpus ciliare*, und zwar gilt dies auch für die Säugethiere.

Ueber die Entwicklung der *Macula lutea* besitzen wir noch keine genaueren Angaben. Wenn von einigen Beobachtern angenommen wird, dieselbe trete erst längere Zeit nach der Geburt auf, so gilt das wohl mehr dem Erscheinen des Pigments, nicht aber der inneren Structur dieser Stelle. Wie man auch über das weiter unten näher zu besprechende genetische Verhältniss derselben, sowie des sogenannten *Foramen centrale* zur fötalen Augenspalte denken möge, so nöthigt schon die Structur der Macula zu der Annahme, dass dieselbe während der Entwicklung der übrigen Retina zu Stande gekommen ist. Dass nicht, wie eine daraufbezügliche Bemerkung von v. Ammon vermuthen lässt, die Bildung von der Choroidea ausgeht, beweist schon der Umstand, dass die eine Vertiefung ausmachende Verdünnung hauptsächlich den inneren resp. mittleren Retinalschichten zufällt, während gerade die äusserste, Zapfenlage, keine Verschiebung oder Verdünnung zeigt.

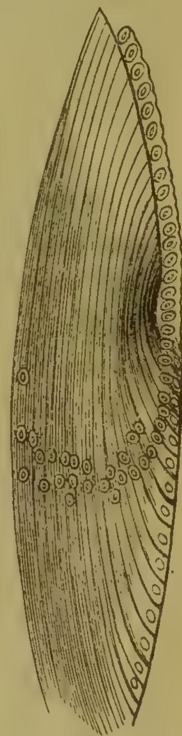
§ 17. Entwickelung der Krystalllinse. Wir haben in § 4 die erste Anlage der Krystalllinse verfolgt und haben jetzt ihre weitere, histologische, Entwicklung zu betrachten. Es versteht sich wohl von selbst, dass jene erste Anlage: ein dickwandiges Bläschen, aus denselben Elementen besteht, welche das Hornblatt zusammensetzen. Die weiteren Umänderungen dieser rundlichen Zellen beginnen übrigens sehr bald. Die neueren Forschungen von H. Meyer (41), Kölliker, J. v. Becker (42) haben uns über die Linsenbildung ziemlich genau unterrichtet, so dass dieselbe eine der am besten bekannten Provinzen der Histogenese bildet. Die älteren Embryologen, wie v. Baer, Huschke, liessen diese wie den Glaskörper durch eine Gerinnung des ursprünglichen Inhaltes der primären oder secundären Augenblase entstehen, in welchem Gerinnsel dann nachträglich Zerklüftungen etc. vor sich gehen sollten. Die erste Nachricht über die innere Structur der Linse in ihren früheren Entwicklungsstadien verdanken wir C. Vogt (43), welcher in seiner, auch die Huschke'sche Entdeckung bestätigenden Arbeit über *Coregonus palaea* zuerst angab, dass die Linse anfänglich aus Zellen, nämlich aus denselben Epidermiszellen, bestehe, welche die Linsengrube auskleiden. Eine Zusammensetzung der fötalen Schaafslinse aus runden Bläschen hatte übrigens früher schon Valentin angenommen, wobei die Natur jener Bläschen allerdings etwas zweifelhaft bleibt: diese Zusammensetzung aus Zellen, aber zarten spindelförmigen, bestätigte Kölliker auch für den menschlichen Embryo. Die Entwicklung der Zellen in Fasern verfolgte aber zuerst Schwann (44 p. 99) am Schweinsfötus, und machte dabei darauf aufmerksam, dass das Centrum von vollständig ausgebildeten Fasern gebildet werde, um welches eine dicke Zone unvollendeter Fasern und kernhaltiger Zellen sich lagere, ohne den vorderen oder hinteren Pol zu erreichen. Die aufgetriebenen Endigungen der Fasern an der Kapsel wurden von ihm, irrthümlich allerdings, auch für Zellen genommen. In der Hauptsache aber wurde seine Beschreibung von den neueren Forschern bestätigt, und insbesondere die peripherische Anlage von kernhaltigen Zellen von H. Meyer (41) über allen Zweifel gestellt. Derselbe zeigte das regelmässige Vorkommen der seither nach ihm benannten »Kernzone« bei allen jungen Säugethieren, und stellte ausserdem noch die wichtige

Thatsache fest, dass jede Linsenfaser nur einen Kern enthält, dessen Grösse von der Peripherie gegen die Mitte abnimmt, so dass ein Zugrundegehen desselben mit der weiteren Ausbildung der Linsenfaser verknüpft ist.

Gerade mit dieser Veränderung der Linsenfaserkerne war aber auch der Ort angedeutet, an welchem die Fasern entstehen und der Weg, auf welchem sie in ihre spätere Stellung gelangen. Diese letzteren Verhältnisse sind insbesondere durch v. Becker einer genauen Untersuchung unterworfen worden, deren Resultate bis heute nur von einer Seite Widerspruch erfahren haben, der aber von jenem Autor, wie es scheint mit genügenden Gründen zurückgewiesen worden ist; wir werden unten darauf zurückkommen.

Wenn man eine fötale Linse (Z. Präp. Fig. 9), bevor dieselbe ihre Bläschenform ganz eingebüsst hat, völlig solide geworden ist, auf einem meridionalen Durchschnitt betrachtet, so erhebt sich von dem Boden der Linsengrube oder von der hinteren Wand des Linsensäckchens eine pilzförmige Wucherung, welche sowohl in Höhe als Breite fortwährend zunimmt, und so endlich einen meniskoïden Raum, der ursprünglich zwischen ihr und der vorderen Linsenwand vorhanden war, ganz ausfüllt. Bemerkenswerth ist dabei, dass zu der Zeit, wo der Gipfel der Protuberanz die vordere Linsenwand berührt, noch ein schmaler spaltförmiger Raum zur Seite besteht, der aber auch allmählich durch Vorrücken seines Grundes aufgehoben wird. Während der erste Anblick eines solchen Durchschnitts die Vermuthung wohl erwecken könnte, dass die Bildung von der hinteren Linsenfläche ausgehe, weist doch schon die starke Einbiegung des seitlichen Randes der Protuberanz auf einen anderen Ort der Entstehung hin, und dieser ist eben jene erwähnte Stelle, wo die Zellenschicht der vorderen Linsenwand in der Gegend des Aequators an die wuchernde Masse anstösst. v. Becker's Untersuchungen erstrecken sich allerdings nicht auf so frühe Entwicklungsstadien, aber er fand doch bei dem jüngsten der von ihm untersuchten Säugethierembryonen, einem 24 Mm. langen Kaninchenfötus, dass das sogenannte Kapselepithel, ein m e h r s c h i c h t i g e s Z e l l e n l a g e r, viel weiter nach rückwärts reicht, als das später der Fall ist, so dass nur ohngefähr ein Viertel der Kapsel davon frei bleibt, und so war auch die Umbiegungsstelle der neuen Linsenfasern viel weiter nach hinten gelagert als bei neugeborenen Thieren. An dieser Stelle findet man eine mehr weniger dicke Lage von rundlichen kernhaltigen Zellen, welche v. Becker B i l d u n g s z e l l e n nannte; dieselben sind kein Pflasterepithel, gehen aber nach vorne in ein solches über, was für die früheren Entwicklungszustände, wo ein solches überhaupt noch nicht vorhanden ist, natürlich nicht passt: hier bestehen noch keine solchen Formenunterschiede in den Zellen der Linsenwand, man kann deshalb auch nicht sagen, dass die Linsenfasern aus einem E p i t h e l entstehen.

Fig. 9.



Entwicklung der Linse nach v. Becker (42 Taf. II. Fig. 2.)

Diese jungen Bildungszellen, in welchen v. Becker häufig Kerntheilungen beobachtete, rücken nun, von andern verdrängt, mehr nach hinten, ordnen sich dabei in Reihen, welche der Linsenwand ohngefähr parallel liegen. Dabei wachsen die Zellen nun nach zwei Seiten, nach vorn und hinten, aus und

biegen sich dabei so, dass deren vorderes Ende mit einem nach aussen concaven Bogen die Nachbarzelle umgreift, das hintere aber in flachem Bogen die Peripherie zu erreichen sucht, oder sich vielmehr an derselben hält. Das Wachsthum des vor und hinter dem ebenfalls sich vergrössernden Kerne gelegenen Theiles der Zelle ist anfangs ein ungleiches: der vordere ist kürzer und auch schmächtiger, der hintere breiter und länger. Diese jungen Fasern werden nun immer mehr nach innen gedrängt, die Bogen, welche sie bilden, immer länger, mit der Concavität nach aussen gerichtet. Weiter nach innen fangen nun auch die vorderen Abtheilungen an stärker zu wachsen, dabei bedingt der von den Nachbarn ausgeübte Druck eine Abplattung der Faser, so dass dieselbe endlich zum sechsseitigen Prisma wird. Ausserdem geht auch in der inneren Structur derselben eine Veränderung vor sich, indem sich ihre Oberfläche zu einer Membran verdichtet, welche der Bildungszelle fehlt, der Inhalt dagegen mehr sich aufhellt und zu einer dicklichen Flüssigkeit, der Kern aber allmählich kleiner wird, ein Vorgang, der übrigens noch weit über die Geburt hinausreicht. Dabei findet eine Verschiebung der Kerne in der Richtung statt, dass dieselben einen nach vorn convexen Bogen bilden, dessen Steilheit später noch zunimmt, ausserdem verschieben sie sich in verschiedenen Schichten etwas gegeneinander, so dass nicht nur eine geschlossene Reihe besteht. Bei Embryonen aller Thiergattungen greift die Kernzone durch die ganze Dicke der Linse, während die kernhaltigen Fasern im späteren Lebensalter nur eine immer dünner werdende peripherische Schicht darstellen. Wenn uns auch über die Entwicklung der menschlichen Linse zahlreiche Beobachtungen fehlen, so genügen doch die vorhandenen, wenn auch nicht den frühesten Stadien entnommenen, um für dieselbe im Wesentlichen den gleichen Bildungsprocess anzunehmen, eine Annahme, welche übrigens schon im Voraus wegen der grossen Uebereinstimmung, welche darüber bei den verschiedenen Thierklassen besteht, die grösste Wahrscheinlichkeit für sich hat. Dem entgegen hat, wie oben erwähnt, nun C. Ritter nach Beobachtungen, welche er an der Froschlinse gemacht hat, behauptet, dass die Linsenfasern aus den kugligen Elementen einer zwischen dem Kapselepithel und den schon deutlich entwickelten Fasern liegenden Schicht entstehen, eine Auffassung, welcher der genügende anatomische Nachweis gefehlt hat. Bei den von ihm untersuchten menschlichen Fötus von vier Wochen bestand die eben eingestülpte, durch einen Trichter noch mit der vorderen Augenwand verbundene Linse aus »Zellen, welche denen der Kopfplatten sehr glichen, aber in ihrer Ausbildung wohl etwas weiter vorgeschritten waren« (11 p. 146). Eine hyaline Linsenkapsel war noch nicht vorhanden; sie fand sich dagegen bei einem zehnwöchentlichen Embryo als eine feine Glaslamelle »angedeutet«, die Substanz der Linse bestand ganz aus Zellen, welche eben ihre Weiterentwicklung zu Linsenfasern beginnen; Ritter fand nur einen Kern in jeder Faser.

Was die Grösse und äussere Form der menschlichen Fötuslinse anlangt, so besitzen wir von v. Ammon einige Detailangaben, die aber wohl nicht ganz zuverlässig sind, weil gerade die embryonale Linse durch Quellung und Compression äusserst leicht Formveränderungen ausgesetzt ist. Insbesondere ist es die noch durch keine Kapsel geschützte hintere Linsenwand, welche bei Herausnahme aus dem Auge schon durch das Aufhören des darauf lastenden intraocularen Drucks sehr leicht nach hinten ausweicht, ja sich hier sogar auf-

blättert, eine Deformation, welche sich dann natürlich bis zum Aequator erstreckt, während die vordere Wand besser ihre Krümmung bewahrt. v. Ammon findet für die erste Anlage der Linse übereinstimmend mit seiner eigenthümlichen Theorie ihrer Bildung, die Scheibenform, an deren Stelle übrigens schon der zweimonatliche Embryo eine nach hinten zugespitzte Kugel besitzt. Auch dieser Autor betont, wie noch Andere, die relative Kleinheit der menschlichen Fötuslinse, gegenüber den relativ grossen Dimensionen, welche man bei Thieren, insbesondere beim Hühnchen kennt. Bei einem zweimonatlichen Embryo füllte sie nicht den vierten Theil des Auges aus. Die Zuspitzung der hinteren Fläche wird von ihm auch noch für ältere Embryonen angenommen, wodurch eine länger dauernde Annäherung, selbst Berührung mit der Eintrittsstelle des Sehnerven hergestellt wird, welche für gewisse pathologische Zustände vielleicht nicht ohne Bedeutung ist. Andeutungen des Linsensterns oder interfibrillärer Gänge finden sich auch schon in der v. Ammon'schen Beschreibung, jedoch ohne genauere Angaben; die späteren Formveränderungen setzen sich, wie bekannt, über das ganze Leben hindurch fort und gehen aus von der nahezu sphärischen Gestalt der Linse des Neugeborenen.

§ 18. Entwickelung der Linsenkapsel. Gegenüber früheren ungenauen Angaben über die Entstehung resp. die Existenz der Linsenkapsel haben wir schon in § 10 darauf hingewiesen, dass darunter nicht die gefässhaltige Hülle, deren verschiedene Beziehungen wir dort erörtert haben, verstanden werden darf; mit dieser hat die spätere Linsenkapsel wahrscheinlich gar nichts zu schaffen, sondern ist erst eine spätere Bildung. Schon der bedeutende und sehr schroff auftretende Unterschied in der Dicke der sogenannten Vorderkapsel, d. h. des vor dem Ansatz der Zonula gelegenen Theils, und des die hintere Linsenfläche sowie auch den Aequator überziehenden weist darauf hin, dass beide Theile nicht wohl als ein genetisch zusammengehöriges Ganzes angesehen werden dürfen; dagegen sprechen ferner die in vielen Fällen so deutliche Schichtung der Vorderkapsel und deren innere Epithelbekleidung, welche beide der Hinterkapsel ganz fehlen. Jenes Epithel sind die Zellen, welche die vordere Wand des Linsensäckchens bilden und welche wir an der Linsenbildung gar keinen Antheil nehmen sahen. Dieselben vergrössern sich nicht, sondern verfallen eher, wie wir das auch bei dem äussern Blatt der secundären Augenblase gesehen haben, einem theilweisen Schwund, werden zu einer einfachen Lage niedriger Zellen. Dieses Epithel reicht bei verschiedenen Thieren verschieden weit gegen den Linsenäquator nach rückwärts, wo die Zellen dann die mehr cylindrische Form der eben auswachsenden Linsenfasern annehmen. Für den hintern Theil der Linse existiren nun ganz andere Verhältnisse, hier stossen die neugebildeten Fasern direct an den Glaskörper, oder genauer an den hinteren Abschnitt der gefässhaltigen Linsenkapsel, und so werden wir auch die Ausbildung der hinteren Kapsel auf eine andere anatomische Basis zurückführen müssen, als die der vorderen. Für die letztere liesse sich eine doppelte Herkunft denken: sie ist entweder ein Theil, vielleicht ein Ueberrest der vorderen Abtheilung der Gefässkapsel, resp. der *Membrana pupillaris* oder *capsulo-pupillaris*, oder eine Ausscheidung der die vordere Linsenwand bildenden Zellen, vielleicht gar aus diesen gebildet. Letzterer Annahme widerspricht die Thatsache, dass die

vordere Kapsel zu keiner Zeit eine celluläre Zusammensetzung zeigt; wenn man darin Kerne gesehen hat (Babuchin (39 p. 1090)), so gehörten diese sicherlich der gefässhaltigen Kapsel an. Gegen die Vermuthung aber, als ob jene ein Rest der letzteren wäre, spricht, wie ich glaube, dass beide nebeneinander, und zwar ziemlich lange Zeit hindurch, bestehen, wie das im teratologischen Theil zu besprechende Verhalten der *Membr. pupillaris perseverans* beweist. Es bleibt also nur die, zuerst von Kölliker (6 p. 298) vertretene Annahme, dass die vordere Kapsel ein Product der später als vorderes Kapselepithel auftretenden Zellen sei, eine Annahme, für welche die Schichtung derselben, deren Gefässlosigkeit, sowie ihre mit jener durchaus congruente Ausdehnung sprechen.

Die hintere Kapsel dagegen hat gewiss eine ganz andere histogenetische Bedeutung, sie kann eher als die atrophische hintere Gefässkapsel, oder, wofür ihr unter normalen Verhältnissen wenigstens sehr inniger Zusammenhang mit der *Fossa patellaris* spricht, als eine einfache Grenzmembran, vom Glaskörper geliefert, angesehen werden: für jene erste Auffassung haben sich in neuester Zeit Sernoff (24) und mit ihm übereinstimmend Lieberkühn ausgesprochen.

Das erste Auftreten der Linsenkapsel wird von Kölliker (beim menschlichen Embryo) in den zweiten Monat versetzt; er fand sie hier als ein feines Häutchen, welches durch Anlagerungen neuer Schichten wächst, und damit stimmen auch die oben citirten Beobachtungen von Ritter.

§ 19. Entwickelung des Glaskörpers. Wir haben uns unter der ersten Anlage des Glaskörpers, die wir in einem früheren § verfolgt haben, ein Gewebe vorzustellen, welches im Wesentlichen mit dem der Kopfplatten, aus welchem es herstammt, übereinstimmt. Diese erste Glaskörperanlage ist aber jedenfalls sehr schmächtig und macht deshalb eher den Eindruck einer Membran, welche gewöhnlich ein wenig gefaltet erscheint, indem sie sich vom innern Blatt der secundären Augenblase ablöst, wodurch dieses seinen scharfen inneren Grenzcontour verliert, der also offenbar dem Glaskörper angehört und die spätere Hyaloidea vorstellt. In dieser hellen Membran bemerkt man nur wenige Kerne, deren etwa zugehöriges Protoplasma nicht zu erkennen ist. Es ist darum diese dünne Glaskörperschicht auch mit der hinteren Kapsel verwechselt worden, von der man angab, dass sie ursprünglich kernhaltig oder gar gefässhaltig sei: das gilt aber nur für die transitorische gefässhaltige Linsenkapsel, während in der definitiven niemals eine besondere Structur wahrzunehmen ist.

Bald entwickeln sich nun im Glaskörper Blutgefässe, deren Anlage von zwei grösseren Gefässen herrührt. Zunächst tritt offenbar durch die fötale Augenspalte ein Ast des schon mehrfach erwähnten Gefässes, welches von der unteren Fläche des Medullarrohrs her unter dem Auge hinläuft, und von dem auch der in den Sehnerv aufzunehmende Zweig herstammt. Die Endarterie des letzteren tritt ja auch aus dem Opticus in den Glaskörperraum, wobei dieselbe noch eine Strecke von einer bindegewebigen Scheide umhüllt ist und dann in mehrere Zweige gespalten an die hintere Linsenfläche tritt, wie schon oben gemeldet worden ist[1]. Immerhin scheint die eigentliche Function dieser *Arteria hyaloidea* erst in die Zeit zu fallen, wo die Augenspalte sich ganz oder grösstentheils geschlossen hat, und auch im Glaskörper selbst eine Sonderung des Gefässsystems in eine der

1) Vgl. Anm. 2. S. 17.

hinteren Linsenfläche anliegende, und eine an die Retina sich anschliessende Abtheilung sich vollzogen hat. Letztere, welche einigen Thierklassen Zeitlebens bleibt, bildet die gefässhaltige Hyaloidea und vertritt dann auch die Vascularisation der Netzhaut, welcher eigene Gefässe fehlen (HYRTL (51)). Beim Säugethier gehört dieses Gefässnetz jedoch der Netzhaut an, wie H. MÜLLER (48) gezeigt hat, und communicirt, wie er angibt, nie mit dem der Linse. Die embryonalen Glaskörpergefässe geben eines der belehrendsten Beispiele für die Entwicklung von Blutgefässen überhaupt, deren cellulärer Aufbau hier Schritt für Schritt zu verfolgen ist. Es ist hier nicht der Ort, auf solche Erscheinungen der allgemeinen Histologie näher einzugehen, ich begnüge mich zu sagen, dass meine eigenen Beobachtungen in dieser Hinsicht mit den Resultaten, welche J. ARNOLD (49) bei seinen Studien über Gefässbildung erhalten hat, völlig übereinstimmen.

Ueber die weitere Entwicklung des Glaskörpers selbst fehlt uns noch eine vollständige Darstellung, und es mag immer noch zweifelhaft sein, ob die spätere Gallerte als Intercellularsubstanz im engeren Sinn, oder als Product der anfangs so reichlich vorhandenen Zellen anzusehen sei. Zu der letzteren Ansicht wird man durch die eigenthümlichen Veränderungen geführt, welche die an sich so einfachen rundlichen Zellenelemente, wie wir sie in der Embryonalzeit durch den ganzen Glaskörper zerstreut finden, durchmachen und welche offenbar am Protoplasma der Zelle sich abspielen, und, wie mindestens wahrscheinlich ist, diese ihrer allmählichen Auflösung entgegenführen.

Noch in den letzten Wochen vor der Geburt, und sogar beim reifen Neugeborenen findet man einzelne solche Zellen im Inneren des Glaskörpers, doch sind sie hier selten geworden und scheinen sich schon frühe in grösserer Zahl nur an der Peripherie desselben zu erhalten, wo sie als ein einfaches Epithel beschrieben worden sind (FINKBEINER). Beim Vogel wird ein zellenloser Kern schon ziemlich frühe bemerkt, welcher bei manchen Thieren sogar die flüssige Consistenz annimmt (LIEBERKÜHN (50)). Zu gewissen Zeiten und selbst noch nahe der Geburt bietet das *Corpus vitreum* mikroscopische Bilder, welche mit dem hyalinen Knorpel die grösste Aehnlichkeit haben. Kernhaltige, verschieden grosse, meist rundliche Elemente, häufig mit den deutlichsten Zeichen eben geschehener oder beginnender Theilung liegen in einer homogenen oder fein granulirten Grundsubstanz unregelmässig zerstreut, theils isolirt, theils inkleinen Nestern zusammen.

Ein geschichteter Bau ist bis jetzt beim Embryo nicht beobachtet, dagegen hat neuestens STILLING (51) nachgewiesen, dass die Hülle, in welcher die *Art. hyaloidea* eingeschlossen ist, nachdem diese längst geschlossen und verödet, noch im Auge des Erwachsenen als ein offener Canal besteht, welcher an der hinteren Fläche des *Corpus vitreum* mit einer trichterförmigen Mündung (*Area Martegiani*) dem Opticus gegenüber beginnt und in gerader Richtung gegen die Linse führt[1].

Im vorderen Theil des Glaskörpers entwickeln sich in späterer Fötalzeit die Fasern der *Zonula Zinnii*. Von den neueren Beobachtern hat IWANOFF (46 p. 1075) angegeben, dass dieselbe erst zur Erscheinung komme, wenn die gefässhaltige Kapsel schwindet. Dem widerspricht jedoch LIEBERKÜHN (18 p. 337), welcher die Zonulafasern schon in ihrer späteren Anordnung und Verlauf auffand, wäh-

[1]) S. dieses Handbuch. Bd. I. S. 465.

rend die Gefässe der Linsenkapsel noch Blut führten: er konnte dieselben nach rückwärts bis gegen die *Ora serrata* verfolgen.

Was die Umhüllungshaut des Glaskörpers betrifft, so ist dieselbe wohl am wahrscheinlichsten als eine membranartige Verdichtung an seiner Oberfläche zu betrachten, während die *Limitans interna* der Retina durch die Verwachsung der Fussenden der Müller'schen Fasern zu Stande kommt. Selbst von Lieberkühn, welcher mit Henle und Iwanoff die Identität beider Membranen annimmt, wird die sogenannte *Limitans hyaloidea* eher als ein Appendix des Glaskörpers als der Retina angesehen; doch gibt er zu, dass aus der Entwicklungsgeschichte über die wahre Herkunft der fraglichen Membran keine sichere Entscheidung zu gewinnen sei[1]) (18 p. 345).

§ 20. Entwicklung der äusseren Augenhülle (Cornea-Sclera). Ueber die Bildung der äusseren Umhüllungshaut des Auges — der Cornea-Sclera — besitzen wir aus früherer Zeit nur spärliche und wenig brauchbare Angaben. Die ersten Beobachter sahen darin eine nur wenig umgewandelte primäre Augenblase, deren Differenzirung in einen vorderen durchsichtigen und hinteren undurchsichtigen Abschnitt dann erst späteren Entwicklungsperioden zufallen sollte. Die Meinungen gingen übrigens darüber auseinander, ob die Hornhaut schon zu Anfang transparent sei oder es später erst werde; manche, wie v. Ammon, fanden die ursprünglich durchsichtige Hornhaut vorübergehend für einige Zeit dieser Eigenschaft verlustig. Aber auch nachdem man von jenem Irrthum, als ob die Wandung der primären Augenblase sich in der Faserhaut des Auges befestige, zurückgekommen war, meinte man doch die Bildung derselben in eine frühere Zeit versetzen zu müssen, als dies in der That der Fall ist; erst die neuesten Arbeiten von Babuchin, Kessler und Lieberkühn haben darüber genügende Aufklärung gebracht.

Die äussere Umhüllungshaut des Auges entsteht aus den sogenannten Kopfplatten, von welchen dasselbe rings umgeben ist; nach Abschnürung der Linse vom Hornblatt schieben sich die, beim Säugethier wenigstens, sicher mit eingestülpten Kopfplatten auch vor ihr zunächst in dünner Lage wieder zusammen, wie das in Fig. 8 Taf. I der Babuchin'schen Zeichnung wiedergegeben ist. Diese dünne, zwischen Hornblatt und Linse sich herüberziehende Schicht der Kopfplatten enthält in sich die Anlage der Cornea, mit ihren späteren Verstärkungen aber auch der *Membrana pupillaris*, Iris und vorderen Linsenkapsel. Dieselbe geht nach aussen einfach in die Kopfplatten über, und steht mit der die Linse von hinten umgreifenden, gefässtragenden Schicht, sowie mit den das äussere Blatt sowie den Augenblasenstiel einfassenden Theilen der Kopfplatten in Verbindung. Die histologischen Elemente der ganzen Anlage sind die verschieden geformten, kernhaltigen, nur sehr schwer zu definirenden Zellen, welche die

1) Erst nach Absendung des Manuscripts bekam ich durch Nagel's Jahresbericht Kenntniss von einer Arbeit von Ricchiardi: Sopra il sistema vascolare sanguifero del feto umano e dei mammiferi (Arch. per la zoologia, l'anatomia e la fisiologia Ser. II. Vol. I. 1869. p. 193—216). Da ich die Resultate derselben im Texte nicht mehr berücksichtigen konnte, so soll hier nur erwähnt werden, dass Ricchiardi im fötalen Glaskörper mehrere (4—8) Venenstämmchen fand, welche die Art. hyaloidea umschlingen, und aus 20—30 kleineren Venen entstehen, die aus der Membr. capsulo-pupillaris sich ablösen; diese Venen bildeten also die Abflusswege für das Blut der Linsenkapsel zu der Zeit, wo noch keine Iris und Choroidea besteht.

ganze Kopfanlage zusammensetzen; diese Zellen liegen sehr dicht; Zwischensubstanz scheint wenig vorhanden zu sein, mit Ausnahme jener ersterwähnten vor der Linse vorbeistreichenden dünnen Schicht, welche von Kessler (21 p. 15) beim Hühnchen als structurlos, nur wenige Kerne bergend, angegeben wird. Auch Hensen (34 p. 420) fand die primordiale Cornea nur äusserst dünn, wie eine Basalmembran des Epithels, hinter derselben aber ein Gallertgewebe von der Structur des Glaskörpers, welches später in die Bildung der Cornea mit einbezogen wird. Beim Säugethier enthält jedoch, wie Lieberkühn (18 p. 318) hervorhebt, jene Schicht leicht nachweisbare ziemlich zahlreiche, wohlgebildete Zellkörper. In Bezug auf die weitere Entwicklung der Cornea stimmt dieser Forscher nicht ganz mit Kessler überein. Letzterer betrachtet die, wie er glaubt structurlose Lage als Grundlage jener Membran, an deren Rändern sich rundliche Zellen anhäufen und zunächst ihre hintere Fläche überziehen, und hier das hintere Epithel bilden. Sodann beginnt eine reichliche Zelleneinwanderung in jene structurlose Grundsubstanz, jedoch nur in deren mittlere Partie, so dass eine vordere und hintere Schicht davon frei bleibt, die später allerdings immer schmäler und zu den beiden Grenzmembranen werden. Die eingewanderten Zellen setzen sich bald fest und werden unter Aenderung ihrer anfänglich rundlichen Gestalt zu den fixen Hornhautkörperchen.

Von dieser Darstellung weicht nun Lieberkühn insofern ab, als nach seinen Beobachtungen beim Säugethier jene Grundsubstanz der Cornea ihre Zellen nicht erst durch Einwanderung erhält, sondern schon vorher besitzt; dagegen findet er ebenfalls eine stärkere Anhäufung derselben am Rande. Die innere Zellenlage — das hintere Epithel — fand Lieberkühn in Zusammenhang mit dem Glaskörper. Ob beide Grenzmembranen die gleiche Herkunft haben, scheint mir noch zweifelhaft: die vordere, welche sich niemals von der *Cornea propria* streng abscheidet, ist offenbar nur eine Grenzschicht derselben, für die hintere, die spätere Descemet'sche Haut, ist die Entstehung aus dem inneren Epithel wenigstens nicht ganz unwahrscheinlich.

In der neuangelegten Cornea treten jedenfalls sehr früh auch Gefässe auf, und zwar unterscheidet man ein äusseres Gefässlager, unmittelbar unter dem Epithel gelegen (präcorneales Gefässnetz Hyrtl (47)) und ein der hinteren Hornhautfläche angehöriges, welches aber wohl eher der hier sich abscheidenden *Membrana pupillaris* zuzurechnen ist.

Aus dem die Hornhautanlage überziehenden Hornblatt entsteht nur deren vorderes Epithel, und zwar, wie Kessler angibt, in zwei Schichten: einer oberflächlichen, aus platten Zellen bestehenden, und einer tiefen, der Malpighi'schen entsprechend aus mehr cylindrischen Elementen gebildeten: die mittlere Schicht als Einlage rundlicher Zellen soll erst später nachkommen. Ich habe bei einem Schaaffötus von 27 Mm. Länge im Hornhautepithel theils cylindrische, theils kolbige Zellen gefunden, deren äussere Enden eine etwas unebene Oberfläche bildeten; die Höhe des Epithels betrug 0,0142 Mm. Am Hornhautrand liegt unter demselben ein aus dichtgedrängten, kurzen Zellen gebildetes breites ringförmig verlaufendes Blutgefäss, welches ich auch beim menschlichen Fötus sah, und von dem Zweige auf die vordere Hornhautfläche abgingen, welche da ein Netz bildeten.

Die Hornhaut zeigt nach meiner Erfahrung schon ziemlich frühe einen geschichteten Bau, und zwar wie es scheint, in viel strengerer Durchführung als

später, wenigstens fand ich es bei einem in Alkohol conservirten Schaafsfötus leicht, dieselbe mechanisch in mehrere Blätter zu spalten, welche aus einer hellen, an manchen Stellen mehr, an andern weniger deutliche fibrilläre Streifung aufweisenden Intercellularsubstanz, sowie zahlreichen grossen, meist mit ovoiden Kernen versehenen Zellen bestanden. Diese Kerne enthielten mehrere Kernkörperchen, die Zellen hatten meistens mehrere Fortsätze, die zum Theil einfach blieben, zum Theil sich aber wieder verästelten. Auf senkrechten Schnitten zeigt die Cornea ebenfalls eine ihrer Oberfläche parallele Zeichnung, in welcher Richtung auch die Ausläufer ihrer Zellen verlaufen; dies gilt mehr noch für die tieferen Lagen, während in den oberen auch vertical gestellte Fortsätze vorkommen; auch fortsatzlose, mehr polygonale Zellen, sowie kleinere rundliche habe ich in den verschiedenen Präparaten wahrgenommen.

Die ganze Dicke der Cornea betrug in der Mitte 0,08, am Rande 0,1 Mm. In noch früheren Entwicklungsstadien scheint der lamellöse Bau der *Cornea propria* noch wenig ausgesprochen: Kessler konnte ihn mit den stärksten Systemen beim Hühnchen nicht auffinden, doch meint er, bei ein wenig geschrumpften Objecten wenigstens Andeutungen davon gesehen zu haben, und ist nach seinen Beobachtungen am Triton um so eher geneigt, eine solche anzunehmen. Es besteht hierin offenbar eine gewisse Uebereinstimmung in der ganzen äussern Umhüllungshaut des Auges, denn auch in der Sclerotica ist eine gewisse Schichtung ja allseitig zugegeben, und hat in dieser Beziehung v. Ammon (13 p. 39) die bestimmte Mittheilung gemacht, dass die Verdickung der anfangs sehr dünnen Sklera durch spätere Auflagerung auf ihre äussere Fläche erfolge, und zwar zuerst in der Gegend des Aequators als ein ziemlich breiter Gürtel, von welchem aus das Wachsthum nach vorn und hinten vor sich gehe.

Ueber die weiteren histologischen Details der Skleraentwicklung geben die neueren Arbeiten über die Structur des geformten Bindegewebes Aufschluss. Zwei Puncte sind aber hier zu besprechen, nämlich der angebliche fötale Spalt der Sklera und die Descemet'sche Membran. Was den ersteren betrifft, so gehört er mit zu der Frage über die Choroidealspalte, und ist seine Existenz nach den darüber angegebenen Gesichtspuncten zu entscheiden. Am bestimmtesten tritt für die frühere Anwesenheit einer Skleralspalte v. Ammon (13 p. 38) ein, der dieselbe zwar in etwas vorgerückter Entwicklungszeit geschlossen, an deren Stelle aber eine »ziemlich deutliche Raphe fand, die von der Insertion des Opticus nach vorn bis fast zur Cornea verläuft«; vor der Vereinigung der Spaltränder und bevor die Sklera mit der Sehnervenscheide sich verbinde, liege hinten und unten ein breiter klaffender Spalt. Die betreffenden Abbildungen lehren, dass wir es hier nicht sowohl mit dem Rest einer Trennung der Sklera, als vielmehr mit dem der Einstülpung des Opticus zu thun haben, welche derselbe durch den Eintritt der *Arteria* und *Vena centr. retinae* erleidet. Bei der noch wenig scharfen Absetzung zwischen hinterer Bulbuswand und Sehnervenscheide, sowie bei der wegen Kürze des Sehnervs jedenfalls seiner Insertion sehr naheliegenden Eintrittsstelle jener Gefässe muss die Spalte gerade dieser entsprechen und sich zugleich noch etwas in die Sklera hineinerstrecken. Für die früheren Zustände der Sklera, wo diese durch einen Hiatus mit der Gehirnzelle in Verbindung stehen soll, hat v. Ammon jedenfalls ganz heterogene Bildungen verwechselt. Wir werden später das längere Offenbleiben der Gefässeintrittsstelle an der

Opticusinsertion, welches übrigens beim Neugeborenen nicht etwa regelmässig vorkommt, zur Erklärung pathologischer Befunde zu verwerthen haben.

Wie erwähnt, soll nach Kessler das hintere Hornhautepithel schon sehr frühe von den Kopfplatten aus geliefert werden, es ist also eigentlich als ein Endothel, ein Abkömmling bindegewebiger Elemente, anzusehen: als solches documentirt es sich auch durch sein Verhalten zum *Ligamentum pectinatum iridis* und zur Choroidea überhaupt. Ich will das letztere Verhältniss, welches sich später nach Entwicklung der Iris und des *Corpus ciliare* so sehr ändert, zuerst berühren. Bei Embryonen von Säugethieren und Menschen, in welchen die meisten Organe des Auges schon angelegt sind, so bei menschlichen aus dem zweiten bis dritten Monat gelingt es sehr leicht, beim Abziehen der Choroidea von der Sclerotica auch eine Membran von der hinteren Hornhautfläche abzuziehen, welche manchmal so gross ist, als diese selbst. Betrachten wir einen solchen Sector von der Fläche, so finden wir im Cornealtheil auf dessen Innenseite ein geschlossenes, aus rundlichen oder unregelmässig polygonalen Zellen bestehendes einschichtiges Epithel, dessen innerste Lage hier mit einem scharfen bogigen Rand ziemlich plötzlich aufhört. Unter demselben liegt eine homogene Glasmembran, welche ebenfalls am Rande plötzlich absetzt, während unter ihr verschieden gestaltete zellige Elemente sich vordrängen. Diese Zellen, welche durch Carmin intensiv gefärbt werden, bilden hier an der Grenze zwischen Cornea und pigmenttragender Choroidea einen ziemlich dicken Wulst, unter welchem auch Gefässanlagen zu sehen sind. Wir haben hier somit noch die später durch Einschiebung der Iris und Entwicklung des *Corpus ciliare* wesentlich modificirte, directe und einfache Verbindung einer hinteren Abtheilung der Gefässhaut, der späteren Choroidea, mit ihrer vorderen der Cornea angehörigen, welche aber doch schon gefässärmer geworden ist, da ein grosser Theil ihrer Gefässe, wie es scheint, in die *Membrana pupillaris* aufgenommen wird. Die Bildung des *Ligamentum iridis pectinatum* soll im folgenden § besprochen werden.

§ 21. Sclerotica und Cornea, Ligamentum iridis pectinatum. Ueber die Grösse, Dicke und Krümmung der embryonalen Hornhaut besitzen wir verschiedene Angaben, welche aber doch nicht so vollständig sind, dass wir die Veränderungen jener Eigenschaften Schritt für Schritt verfolgen könnten. Die Ausdehnung der Cornea ist im Anfange eine relativ zur Grösse des Bulbus viel beträchtlichere, so dass dieselbe zu gewissen Zeiten über $\frac{1}{4}$ der Bulbusoberfläche einnimmt, ein Verhältniss, welches sich später insbesondere durch Wachsthum des Glaskörpers schon für den dreimonatlichen Embryo auf $\frac{1}{6}$ herabdrückt. Auch beim Neugeborenen hat die Hornhaut noch einen relativ grösseren Umfang als später.

Wenn wir die oben verzeichneten neueren Beobachtungen über die Bildung der Hornhaut berücksichtigen, so werden wir zugeben müssen, dass sie und die Sklera während der ganzen Entwicklung zwei verschiedene Gewebe sind, wenn sie auch manche wichtige Analogie aufweisen: wir werden somit nicht den Termin zu bestimmen haben, wann die anatomische Scheidung beider eintritt, welcher von früheren Autoren sehr verschieden characterisirt und auch in verschiedene Entwicklungsperioden verlegt worden ist. Von den Einen wird das Auftreten einer scharfen Kreislinie (v. Ammon) kaum vor Ende des dritten Monats,

von Anderen eine Einfurchung als erstes Zeichen der Trennung angesehen, während wieder Andere eine solche erst mit der Transparenzänderung eintreten lassen. Es wird aber den Verhältnissen mehr entsprechen, der Cornea von der ersten Zeit ihrer Bildung an diese Eigenschaft zuzusprechen, welche der Sklera trotz ihrer geringeren Dicke niemals zukommt. Der Zusammenhang zwischen beiden ist auch in den ersten Monaten keineswegs ein so inniger, wie später, so dass man deshalb beide als eine Membran anzusehen gezwungen wäre; ich fand es wenigstens bei Embryonen aus dem dritten Monat ebenso leicht, beide als ein Continuum vom Bulbus abzulösen, als auch an der nun schon deutlich ausgesprochenen Grenze ziemlich leicht von einander zu trennen. Der Trennungsrand wird dabei allerdings von zahlreichen in meridionaler Richtung gelagerten Fasern überragt, als Zeichen der vorherbestandenen Verbindung. Jedenfalls beziehen sich die verschiedenen Angaben über mehrfache Aenderung der Transparenz auf verschieden conservirte Präparate. In der noch sehr dünnen Sclerotica eines Schaafsfötus fand ich parallel in Bündeln angeordnete Bindegewebsfasern mit jenen meist anliegenden ovalen Kernen von 0,018 Mm. Länge, die sich kaum je von anderem Protoplasma umschlossen zeigten. Der Verlauf der Faserbündel war hauptsächlich ein meridionaler; in der Nähe der Hornhautgrenze trat dagegen statt eines solchen bei vielen ein schräger ein; der Reichthum und die beschriebenen ästigen Formen der Zellen in der Cornea werden in der Sklera vermisst. Während so die fibrillär bindegewebige Structur, die Anwesenheit von endothelartigen Elementen eine gewisse innere Verwandtschaft zwischen der vorderen und hinteren Abtheilung der äusseren Hülle des Auges begründen, so liegen doch in ebengenanntem Umstand, sowie in der Theilnahme des äusseren Blattes an der Bildung, in dem Auftreten der beiden Grenzmembranen histologische Differenzen, welche ihre Trennung wenigstens als eine sehr frühe erscheinen lassen.

Was die Krümmungsverhältnisse der embryonalen Cornea und Sklera anlangt, so scheinen dieselben in der ersten Zeit für den ganzen Bulbusumfang die gleichen zu sein, erst später, mit der Entwicklung des *Corpus* und *Ligamentum cil.* fällt jener eine stärkere Krümmung zu: diese ist sogar eine Zeitlang eine bedeutendere und gleicht sich später wieder mehr aus. So erhebt sich auch die Dicke derselben Membran sehr bald über die der Sklera, welch letztere, wie bekannt, auch beim Neugeborenen noch beträchtlich dünner ist, als in späteren Jahren. Diese Dünnheit gibt ihr wegen des unterliegenden Pigments eine bläuliche Farbe, welche von manchen fälschlich einer hinter der Cornea liegenden Iris zugeschrieben worden ist und zu der Annahme einer normalen Irisspalte Veranlassung gegeben hat. Eine besondere Abweichung von der allgemeinen Krümmung der Sclerotica beschrieb v. Ammon (13 p. 16) als *Protuberantia scleralis*; sie ist ein ziemlich circumscripter Vorsprung, der ursprünglich nach unten lag, später aber, wie er glaubt, durch eine Lageveränderung (Drehung) des Bulbus nach hinten und aussen zu stehen kommt. v. Ammon lässt ihn an der Stelle der Vereinigung des Skleralhyatus entstehen. Die Annahme des Vorkommens einer solchen Protuberanz von anderen Seiten scheint wenigstens keine allgemeine zu sein und kann dieselbe sonach nicht als eine regelmässige Bildung gelten: ich selbst fand sie sehr deutlich entwickelt an einem menschlichen Embryo von ca. vier Monaten, in einer Entfernung von 2 Mm. vom äusseren Rand der Opticusinsertion. Die Sclerotica war hier sehr dünn, noch mehr durch-

scheinend als an den übrigen Stellen; eine Zuspitzung der Hervorragung, von der v. Ammon schreibt, war nicht vorhanden, der ganze laterale Bezirk der Bulbuskapsel erhielt dadurch eine viel grössere Ausbreitung, als das gewöhnlich am fötalen Auge der Fall ist. Gegen Ende der Schwangerschaft scheint die im dritten Monat zuerst beobachtete Protuberanz wieder zurückzugehen, denn im sechsten schon fand sie ihr Entdecker nur noch angedeutet. Ritter erwähnt dieser Eigenthümlichkeit nicht, obschon der von ihm untersuchte Bulbus eines zehnwöchentlichen Embryo, wie er angibt, schon von einer völlig geschlossenen Kapsel umgeben war; er fand die Sclerotica sehr dick, den grössten Theil der Cornea noch undurchsichtig, nur am vorderen Pol eine kleine durchsichtige Stelle. Dass das Epithel der vorderen Hornhautfläche ganz fehlte, beweist wohl nur die Schadhaftigkeit des betreffenden Präparats, nicht aber das Fehlen der Conjunctiva. Die Descemet'sche Membran fand er als feine Verdopplung des inneren Contours der Cornea schon angedeutet. Die Grundsubstanz der letzteren war völlig homogen, keine Spur von Lamellen vorhanden, nur einzelne rundliche Kerne vorhanden, welche gegen den Rand sich häuften. In der Sklera lagen spindelförmige, sich in Fibrillen spaltende Zellen: also bestanden doch schon, wie es scheint, sehr wesentliche histologische Differenzen zwischen Cornea und Sklera, die nicht gerade für deren Unität sprechen; auch muss man Kessler (21 p. 18) zustimmen, wenn er sagt, dass Ritter keineswegs den Anfang der Corneabildung vor sich gehabt habe.

Ueber die Entstehung des *Ligamentum iridis pectinatum*, dessen Structur gerade in den letzten Jahren der Gegenstand mehrerer Untersuchungen gewesen ist, gibt uns Kessler einige Nachricht. In der Ausbildung, wie dieses Organ beim Erwachsenen vorliegt, ist es jedenfalls als eine ziemlich späte Bildung zu betrachten, die auch mit der Geburt noch bei weitem nicht abgeschlossen ist.

Nach Kessler (21) bildet die erste Anlage desselben ein Haufen von Zellen, welche zwischen der zur Iris werdenden, inneren, und der den Ciliarmuskel liefernden äusseren Schicht der Kopfplatten liegen bleiben, d. h. weder zu der einen, noch zu der anderen verwendet werden. Diese Zellengruppe liegt, wie seine Abbildung (Fig. 2 und 3) zeigt, in dem beim Hühnchen immer spitzer werdenden Winkel, welchen die eben hervorsprossende Iris und das hintere Hornhautepithel zusammen bilden. Die Zellen selbst unterscheiden sich anfänglich nicht von denen der Kopfplatten überhaupt, treiben aber bald breite und lange Fortsätze, welche sich untereinander verbinden und mehr und mehr schlanke Maschen bilden, in welchen nun die Kerne noch längere Zeit liegen bleiben. Beim menschlichen Embryo scheint sich jedoch diese Umwandlung viel später zu vollziehen, denn man findet noch bei fast ausgetragenen Früchten an den breiten Balken des Fasernetzes die celluläre Structur sehr deutlich ausgeprägt: unförmliche Protoplasmaklumpen mit Kern und meist breiten Ausläufern, welche sich aneinander legen und miteinander verschmelzen. Ueber das Ligament zieht sich die geschlossene Lage des hinteren Corneaepithels herüber.

§ 22. Entwicklung des Sehnerven. Während bis auf die neueste Zeit Niemand zweifelte, dass der fertig gebildete Sehnerv durch allmähliche histologische Differenzirung aus dem primordialen Augenblasenstiel sich entwickele, sind dagegen jetzt von mehreren Seiten gewichtige Bedenken erhoben

worden, welche die Annahme nahe legen, dass der letztere mehr nur als Leitband für das Heranrücken der wichtigsten Elemente des Opticus diene.

Für die früheren Zustände macht übrigens auch Schöler darauf aufmerksam, dass man noch nicht von einem *Nervus opticus* reden könne. Die erste Anlage desselben werde erst in etwas späterer Zeit sichtbar als ein weisslicher Streifen, welcher vom hinteren Theil des Auges beginnend gegen die (untere) Medianlinie des Gehirns auslaufe.

Es ist dieser Streifen wohl nichts anderes als die sehr frühe Bildung, welche His mit dem Namen Basilarleiste bezeichnet hat. Nicht der Sehnerv ist es also, der sich zur Retinablase entwickelt, wie man sich wohl früher ausgedrückt hat, sondern er ist die sich allmählich ausziehende und isolirende Verbindung zwischen Gehirn und Augenblase.

Eine besondere Schwierigkeit für das Verständniss des späteren Verhältnisses des Opticus zur Retina liegt in dem Umstand, dass der Augenblasenstiel nach geschehener Einstülpung der Augenblase, wie es scheint, nur mit dem äusseren Blatt derselben in directer Verbindung steht, und man hat sich viele Mühe gegeben, die spätere Communication mit dem inneren Blatte aufzufinden, welche zu einem bleibenden Zustand sich gestalte.

Lieberkühn (18 p. 350) hat nun dem gegenüber hervorgehoben, dass eine solche Verbindung eigentlich von Anfang an, beim Hühnchen wenigstens, vorhanden sei, an der Stelle nämlich, wo die Augenspalte sich bildet, was gerade hier um so deutlicher wird, da die Sehnervenfasern durch diese Spalte in das Auge eintreten (vgl. Fig. 4. S. 8). Die innere Verbindung an den anderen Stellen ist aber eigentlich doch als das Resultat einer histologischen Veränderung anzusehen, durch welche die Pigmentirung der Zellen des äusseren Blattes nur bis in die Nähe des Sehnerven sich erstreckt, während von hier dieselben Zellen in die nicht pigmentirten dieses sich fortsetzen: das Alles geschieht aber noch in einer Zeit, wo Nervenfasern darin noch nicht vorhanden sind. Andere Autoren hatten sich die Verbindung zwischen Opticus und Netzhaut auf andere Weise entstanden gedacht. Huschke hatte schon bemerkt, dass das Sehnervenrohr nicht cylindrisch bleibe, sondern dass seine untere Wand eingestülpt werde und derselbe so selbst die Gestalt einer Rinne bekomme. Diese Einstülpung zeigt sich als die Fortsetzung der bei Entwicklung des Glaskörpers nach Schöler sich vollziehenden, wodurch dann endlich das Auge die Gestalt einer Haube oder eines Schöpflöffels erhält, dessen Stiel übrigens ebenfalls gerinnt ist. Bei dieser Einstülpung rückt nun zunächst wenigstens die untere Wand des Opticus mit der des Auges herein und bleibt mit deren inneren Blatt in fortwährendem Zusammenhang. Wenn die Ränder der Augenspalte sich dann wieder vereinigen, so geschieht dies auch am Opticus, und es würde darin eine »secundäre« Höhle entstehen, wenn dieselbe nicht von vornherein von parablastischen Elementen ausgefüllt wäre. Diese letzteren sind die Träger eines Gefässes, welches, wie schon früher bemerkt, unter dem Auge verläuft, und von welchem sich ein Ast in die Rinne des Opticus hereinlegt und von den zusammenrückenden Wänden derselben endlich völlig umfasst wird und dann in den axialen Theil des Opticus zu liegen kommt. Dieser Einstülpungsvorgang findet übrigens, wie Lieberkühn hervorhebt, und wie schon in § 7 erwähnt ist, nur beim Säugethier, nicht aber beim Vogelauge statt, welchem eine *Arteria nerv. opt.* fehlt, womit dann auch die Veranlassung

dazu wegfällt. Aber auch beim Säuger trifft die Rinnenbildung den Sehnerven nicht in seiner ganzen Länge, sondern nur sein dem Auge zunächst liegendes Stück, in welchem schon in frühester Zeit eine Arterie liegt (Lieberkühn). In der entfernteren Strecke kann darum das Verschwinden des Hohlraums desselben nicht dadurch zu Stande kommen, dass, wie dort, die Wände bis zur Berührung sich aneinanderlegen, sondern nur durch eine Verdickung der Wandungen, analog der Verkleinerung der Höhlen der primären Hirnblasen. Für diese Annahme spricht auch die Thatsache, dass so frühe eine Verengerung und Verschliessung der cerebralen Mündung des Sehnervs zu Stande kommt, während vor derselben sein Lumen noch längere Zeit erhalten bleibt. Aber auch in dem eingestülpten Stück erfolgt die Ausfüllung des Lumens nach Lieberkühn nicht durch Verschmelzung der einander genäherten Wände, sondern ebenfalls durch Verdickung derselben. Das ursprüngliche Verhältniss verräth sich auch später noch dadurch, dass beim Neugeborenen die Opticusgefässstämme oft bei weitem nicht central liegen, sondern der Peripherie mehr weniger nahe, sowie durch ein hier tief in den Nerven eindringendes (Bindegewebs) Septum von besonderer Stärke. Dass die Gefässe überhaupt noch längere Zeit als eine fremde Einlage im Opticus bestehen bleiben, beweist die so sehr entwickelte Lymphscheide, welche sich bei dem Hemicephalenauge (53 p. 14) gezeigt hat, und welche, obschon in einem Monstrum gefunden, darum doch nicht als eine an sich anomale Bildung angesehen werden darf.

Als ein später, vielleicht verspäteter Rest der Opticuseinstülpung ist die Spalte zu betrachten, welche v. Ammon an einem Kindesauge beobachtet hat, und welche zum Theil der Sklera, zum Theil dem Opticus angehörte, wenn sie auch nur auf dessen Scheide sich beschränkte. Diese letztere ist eine der Sclerotica offenbar gleichwerthige Bildung und bildet sich aus den den Sehnerven umgebenden Kopfplatten, grenzt sich gegen denselben ganz ebenso ab, wie jene Haut gegen die Choroidea, welche letztere im Sehnerven fehlt oder etwa durch die innere Scheide repräsentirt wird, die bei manchen Thieren Pigment führt, während das intravaginale Bindegewebe sehr gut der Suprachoroidea entspricht. Da höchst wahrscheinlich Opticusscheide und Sklera zu gleicher Zeit sich herausbilden, so ist damit und mit dem von Anfang bestehenden Zusammenhang des Nervs mit der secundären Augenblase auch der der Opticusscheide mit jener gegeben und die Bestimmung einer gewissen Zeit für die Vereinigung, wie sie v. Ammon festzustellen sich bemüht hat, fällt damit weg.

Es entsteht nun die Frage, wie entsteht aus jener ersten Anlage des Sehnerven die spätere Structur desselben? Die früheren Arbeiten enthalten darüber keine näheren Nachrichten, erst His hat darüber ein bestimmtes Urtheil abgegeben, welches von der Thatsache ausgehend, dass der Sehnerv keine Ganglienzellen enthalte, auch die Entstehung der Nervenfasern nicht in ihn verlegt, sondern diese vom Gehirn aus in denselben hereinwachsen lässt (14 p. 131). »Wir dürfen«, sagt jener Forscher, »den Augenblasenstiel nur als Leitgebilde betrachten, das den Sehnervenfasern den Weg weist. Die Zellenverbindung, welche der Stiel der Augenblase zwischen Gehirn und Retinaanlage anfangs herstellt, muss sich später lösen, indem die Zellen einem der beiden Theile, nämlich dem Gehirn, zufallen«. His stützt diese Ansicht auf die von den meisten neueren Histologen vertheidigte Annahme, dass die Nervenfasern nicht aus der

unmittelbaren Metamorphose kernhaltiger Zellkörper entstehen, sondern nur aus den Ausläufern von Zellen sich bilden. Wie bekannt, hat diese Annahme durch die neuesten Arbeiten von Ranvier (54) einen gewiss wohl zu beachtenden Widerspruch erfahren und darf daher jetzt nicht mehr ohne weiteres als Argument anderen Folgerungen zu Grunde gelegt werden.

Für die autochthone Entwicklung der Nervenfasern liegt nun allerdings die primitive Structur des Augenblasenstiels, soweit uns dieselbe bekannt ist, nicht günstig. Die radiäre Stellung der zelligen Elemente des Sehnervenrohrs deutet viel eher auf die Entwicklung des Bindegewebsgerüstes, sofern, was allerdings nicht ausgemacht ist, alle Zellen jene erwähnte Stellung einnehmen. Jedenfalls verliert sich die radiäre Streifung später mehr und mehr und tritt statt derselben, nach Lieberkühn, zuerst an der Oberfläche des Nerv eine longitudinale Strichelung ein, als Ausdruck von feinen auf Querschnitten punctförmig erscheinenden Fasern. Diese nimmt nun mehr und mehr überhand, es zeigen sich beim Zerzupfen eine leicht streifige Grundsubstanz und Kerne von homogenem Protoplasma umgeben.

Meine eigenen Untersuchungen, welche ich an Säugethierembryonen verschiedenen Alters anzustellen Gelegenheit hatte, legen mir allerdings eine der eben erwähnten Lieberkühn'schen entsprechende Auffassung sehr nahe. Sehr auffallend erscheint vor Allem der grosse Kernreichthum des Sehnerven. Diese Kerne sind theils von einem feinkörnigen Protoplasma umgeben, erscheinen somit als wirkliche Zellenkerne, theils als sogenannte freie Kerne, deren isolirte Stellung aber hier wegen der schwierigen Präparation sehr zweifelhaft ist. Die Zellen haben meist eine ovoide Form und opponirte Fortsätze, welche dem Nerven parallel laufen und auf sehr lange Strecken zu verfolgen sind. Dieselben besitzen einen Durchmesser von 0,0006 bis 0,002 Mm., keine eigentlichen Varicositäten, zeigen aber doch einen raschen Wechsel ihrer Dicke während ihres Verlaufs.

Manchmal glaubte ich zwei hintereinanderliegende Zellen durch solche lange Fortsätze verbunden zu sehen. Die zugehörigen Zellen selbst besitzen eine Breite von 0,009 Mm. und eine Länge von 0,014 bis 0,016 Mm. und sind eingebettet in ein zartes flockiges Gewebe, in welchem sehr feine Fäserchen da und dort wahrzunehmen sind. Sind diese Zellen Nervenzellen resp. Bildungszellen von Nervenfasern, ihre langen Fortsätze als solche anzusehen? Wenn ich auch keine bestimmte Entscheidung zu geben vermag, so bin ich doch, insbesondere nachdem ich an Präparaten von fertigen dunkelrandigen Nervenfasern mich von der Richtigkeit der Ranvier'schen Darstellung ihrer Structur überzeugt habe, sehr geneigt, die Frage zu bejahen. In früheren Entwicklungsstadien ist offenbar die Markscheide der Nervenfasern des Opticus, die ja auch später nie mächtig wird, so dünn, dass ihre Existenz an in Müller'scher Flüssigkeit conservirten Präparaten nicht mit Sicherheit nachzuweisen ist und kann darum kein Criterium abgeben, wie das bei anderen markhaltigen Fasern der Fall ist; ich will auch den eigenthümlichen Glanz, den mir jene Zellenfortsätze manchmal zeigten, nicht dafür geltend machen, dagegen verrieth sich die Anwesenheit einer sehr dünnen Markscheide an manchen Fasern dadurch, dass sie von Stelle zu Stelle unterbrochen war, so dass hier die Faser nicht nur feiner sondern auch zarter aussah.

Gibt man nun auch die autochthone Genese der Sehnervenfasern zu, so ist damit die Frage nach ihrer Verbindung einerseits mit der Retina, andererseits

mit dem Gehirn noch nicht entschieden. Gerade diese Verbindung aber mit den Ganglienzellen der Centralorgane einerseits, mit denen an der Peripherie gelegenen der Retina andererseits mag für die weitere Ausbildung und vor Allem Function derselben immerhin von entscheidender Bedeutung sein, für welche bis jetzt ein bestimmter histogenetischer Ausdruck nicht gefunden ist, da nun auch die centrifugale und zwar von den Centralorganen ausgehende Anlage des Nervenmarks, für die peripherischen Nerven wenigstens, zweifelhaft geworden ist.

§ 23. Embryologische Bedeutung der Macula lutea. Es ist hier der Ort, über die entwicklungsgeschichtliche Bedeutung der *Macula lutea* und des *Foramen centrale* zu sprechen. Ich kann dabei deren Structur als durch die neueren histologischen Arbeiten genügend aufgehellt voraussetzen, wenn auch manche Details, wie z. B. das Verhältniss der Opticusfasern zu den Nervenzellen u. A. wohl noch weiteres Studium erwarten. In den früheren Beschreibungen dieser merkwürdigen Retinagegend, welcher die Physiologie die höchste Dignität zuweist, finden sich als besondere Eigenschaften aufgeführt: die gelbe Farbe, die centrale Vertiefung, von Einigen als ein wirkliches Loch angesehen, und eine vom äusseren (lateralen) Rand der Opticuspapille herkommende Doppelfalte (*Plica centralis s. transversa*). Während spätere Untersuchungen das normale Vorkommen der beiden ersten Bildungen aufrecht erhalten haben, ist bezüglich der letzten die zuerst von Brücke (55) erhobene Einsprache, wonach die Falte eine postmortale Veränderung sei, ziemlich allgemein angenommen worden. Auffallend musste es immerhin bleiben, dass diese Leichenerscheinung so sehr häufig, fast regelmässig sich einstellt, dass, während die Retina in ihren übrigen Theilen noch ganz glatt geblieben ist, immer gerade an dieser nämlichen Stelle, jene Falte gefunden wird: ein Grund dafür ist bis jetzt nicht angegeben worden. Gerade diese Falte aber und die von ihr eingefasste Grube haben, wie leicht begreiflich, frühe schon, als man mit der fötalen Netzhautspalte bekannt wurde, die Vermuthung erweckt, dass man es hier mit einer Bildung zu thun habe, die mit jener in genetischem Zusammenhang stehe, von ihr herrühre. Dieser Auffassung der *Fovea centralis* als eines Restes der fötalen Augenspalte, wie sie von v. Baer, Stark (56), Huschke u. A. ausgesprochen wurde, ist immer wieder die Entgegnung widerfahren, dass deren Lage dieser Spalte nicht entspreche. Letztere verläuft nach ziemlich übereinstimmender Angabe im unteren inneren Theil des Auges, wofür auch gewisse pathologische Erscheinungen sprechen; die Macula aber liegt nach aussen vom Opticuseintritt, also jener so ziemlich genau diametral gegenüber. Als ein weiterer Einwand wurde von einigen neueren Forschern hervorgehoben, dass die *Macula lutea* beim reifen neugeborenen Kinde noch nicht vorhanden sei, sondern erst später sich zeige. Sofern sich diese Behauptung auf die gelbe Färbung der Stelle bezieht, kann sie als regelmässiger Befund angesehen werden, wenn auch einige Beobachter derselben schon für frühere Entwicklungsstadien erwähnen, so Leveillé für einen Fötus von acht, Berres für einen von vier Monaten. Ob aber, abgesehen von der gelben Farbe, auch die anderen Structurverhältnisse hier Besonderheiten zeigten, ob die späteren so intensiven histologischen Differenzen zur Zeit der Geburt diese Stelle gegen die andere Retina schon auszeichnen, darüber fehlt es noch an genaueren

Nachrichten, wie überhaupt die Entwicklungsgeschichte der Macula auch in den neuesten Arbeiten noch keine genügende Berücksichtigung erfahren hat. Gegen eine so späte Bildung der *Fovea centralis* möchte doch schon die Erfahrung sprechen, dass dieselbe gerade bei Kindern eine ophthalmoscopisch so ausgezeichnete Stelle bildet. Hensen (34 p. 350) gibt allerdings speciell für jene an, dass die Augenspalte beim Menschen vollständig geschlossen sei, ehe die Fovea entstehe, genauere histologische Angaben finden sich aber auch hier nicht. Für die Annahme einer nachträglichen Entstehung der Netzhautgrube fehlt aber auch, wie mir scheint, jede Erklärung: wir können uns nicht vorstellen, auf welche Weise in der histologisch schon ausgebildeten Retina eine nachträgliche so beträchtliche Verdünnung sollte zu Stande kommen; als ein zurückbleibendes Wachsthum können wir dieselbe nicht auffassen, da die embryonale Retina ja eine relativ bedeutendere Dicke hat, als die des erwachsenen Thieres, und auch für ein solches Zurückbleiben des Wachsthums würde uns jeder Grund fehlen. Wir werden dabei doch immer wieder dahin gedrängt werden, die Anlage für Entwicklung der Fovea in eine Periode zu verlegen, wo die Structur der Retina noch eine unfertige ist, wo insbesondere die Ausbildung der Opticusfaserschicht noch nicht abgeschlossen ist. Nun haben wir aber diese letztere schon als eine sehr frühe entwickelte Schicht der Retina kennen gelernt und können uns das eigenthümliche Verhalten der Opticusfasern gerade an der Macula wohl auch nur in einer sehr frühen Entwicklungszeit zu Stande gekommen denken. Wie Wallace zuerst angab, und wie die meisten folgenden Untersuchungen bestätigten, umgehen die meisten Nervenfasern jene Stelle, wenn vielleicht auch an deren Rande einige endigen sollten, was noch zweifelhaft ist. Woher nun dieser auffallende Verlauf? Gerade hier, wo die percipirenden Elemente am dichtesten stehen, werden dieselben von den zugehörigen Fasern nur auf Umwegen erreicht, wofür auch die eigenthümlich schräge Lage der Zapfenfasern spricht. Eine Ursache liesse sich vielleicht darin finden, dass die mächtige Entwicklung der Ganglienzellen die Nervenfasern — darunter seien hier immer nur die Opticusfasern verstanden — gewissermaassen auseinander getrieben habe. Dagegen spräche aber einmal der Umstand, das jene Schicht gerade in der Tiefe der Fovea weniger dick ist, als in den peripherischen Bezirken der Macula, wo nach H. Müller die Nervenzellen in acht Reihen übereinander liegen.

Aehnlich wie mit den Nervenfasern verhält es sich auch mit den Blutgefässen, auch diese ziehen, die grösseren Aeste wenigstens, wie bekannt, in ziemlich grossen Bogen um die Macula herum, während nur ihre feineren Zweige gegen diese herantreten, ohne aber die Fovea selbst zu erreichen. In seltenen Fällen aber, lehrt uns der Augenspiegel, zieht eine Arterie direct von der Papille gegen den hinteren Pol als ein feines sich nicht weiter theilendes Zweigchen.

Alle diese aufgezählten Eigenthümlichkeiten des gelben Flecks würden sich, so scheint es, doch am einfachsten und ungezwungensten erklären, wenn wir annähmen, dass in einer gewissen früheren Entwicklungsperiode des Auges an deren Stelle eine Zeit lang eine Lücke bestände, welche sich erst später, und zwar auch da nicht ganz, ausfülle. Da die Netzhaut bis zu einem gewissen Grade sich ganz unabhängig vom Sehnerven entwickelt, so würden wir es wohl verstehen, dass die zur Zeit des Bestehens jener Lücke über die Netzhaut hinwachsenden Nervenfasern dieselbe umgehen müssten und ein späteres Entgegen-

streben der zusammenhängenden Theile eine schräge Richtung der verbindenden faserigen Elemente veranlassen würde. Derselbe Umstand würde auch den Gefässverlauf in demselben Sinne beeinflussen; ja für die ganze hintere Polgegend dürfte der längere Bestand einer solchen Lücke zur Folge haben, dass hier der verspätete Schluss eines Defects in der primären Anlage des Auges auch eine verspätete und darum längere Zeit hindurch weniger vollständige Entwicklung der äusseren Hüllen nach sich zöge, wie sie uns in der starken Verdünnung der Sclerotica in jener Gegend, die sich manchmal als wirkliche Protuberanz zeigt, entgegentritt.

Da wir nun keinerlei Recht haben, eine ganz isolirte Lücke in der Retinaanlage anzunehmen, da uns die Entwicklungsgeschichte dafür keinen Anhaltspunct gibt, so werden wir immer wieder veranlasst sein, dieselbe mit der fötalen Augenspalte in Beziehung zu bringen. Dem scheint aber, wie das auch neuerdings von Hensen Krause gegenüber, früher schon von Schöler geltend gemacht wurde, die Lage des gelben Flecks nach aussen vom Opticuseintritt entgegen zu stehen. Diese Schwierigkeit wird jedoch sofort beseitigt, wenn man annimmt, dass die *Fovea centralis* am oberen Ende der Netzhautspalte liegt oder vielmehr den Rest dieses oberen Endes darstellt; es würde das natürlich die weitere Annahme in sich schliessen, dass beim Menschen und einigen Thieren wenigstens, wenn auch anfangs der Augenblasenstiel, doch nicht der spätere Opticus die Netzhautspalte nach oben abschliesst. Lassen wir jene Annahme zu, dass die letztere noch eine Strecke weit über jenen hinaus reicht, und zwar hier länger offen bleibt, als der untere längere Theil der Spalte, so wird das Zustandekommen der Fovea und ihrer wesentlichen Structurverhältnisse leicht verständlich werden. Wie wir gesehen haben, müssen die Opticusfasern allmählich über die ganze Retina hinwachsen; da wo diese unterbrochen ist, fehlen sie, wie uns die allerdings noch sehr sparsamen anatomischen, noch mehr aber die viel häufigeren ophthalmoscopischen Befunde für abnorme Verhältnisse lehren. Steht also normal der über dem Opticuseintritt gelegene kurze Theil der Spalte noch offen, so werden die Nervenfasern nicht über ihn hingehen, sondern später nach dessen Schliessung durch die weitere Entwicklung der Retina an seiner Seite liegen müssen, um von hier aus die Verbindungen mit ihren nervösen Apparaten zu suchen.

Um diese Hypothese zu beweisen, wäre es allerdings nöthig, die Anwesenheit jener Spalte, über dem Opticus, resp. nach aussen von dessen Eintritt, zu einer Zeit nachzuweisen, wo der untere, grössere Theil derselben schon geschlossen ist. Es steht mir bis jetzt nur ein Befund zu Gebote, der darauf Bezug hat. An einem menschlichen Embryo aus dem dritten Monat, an welchem ich eine sehr entwickelte Skleralprotuberanz fand, zeigte sich die Retina an der tiefsten Stelle derselben mit der Choroidea fester verbunden als sonst wo, und da ich dieses Stück Retina mit der hinteren Fläche nach oben unter das Mikroscop legte, so zeigte sich eine nach aussen vom Opticuseintritt liegende querverlaufende Spalte, welche sich von den verschiedenen künstlichen Brüchen der Netzhaut sehr deutlich unterschied. Obschon das Pigmentepithel an dieser Stelle fehlte, so kann ich das nicht als normalen Befund ansprechen, da dasselbe in anderen Gegenden auch der Fall war. Deutlich war zu bemerken, dass die Spalte nicht die ganze Dicke der Retina durchsetzte, sondern mehr nur ihren mittleren oder inneren

Lagen angehörte. Leider war der Zustand des Weingeistpräparats nicht der Art, dass ich hätte Durchschnitte anfertigen oder die Structur der Netzhaut genauer studiren können; ich gebe meinen Befund einstweilen in dieser unvollständigen Beschreibung, weil er mir doch der Frage über die Entwicklung der *Fovea centralis* gegenüber, von einiger Bedeutung scheint.

Indem ich für weitere Belege auf das folgende Capitel der Missbildungen verweise, möchte ich zur Unterstützung der oben ausgesprochenen Annahme noch darauf aufmerksam machen, dass für den gefundenen innigeren Zusammenhang zwischen Retina und Choroidea keine besonderen Verbindungen aufzufinden waren, dass aber ein festerer Zusammenhang an dieser Stelle auch zwischen Choroidea und Sclerotica bestand, der wohl durch durchtretende Gefässe, die sich auf der äusseren Choroideafläche abgerissen fanden, vermittelt war. Auch die Dünnheit und Dehnung der Sclerotica am hinteren Pol des Auges, die gewisse Embryonalzustände zeigen, die aber auch, worauf einige Befunde bei *Coloboma oculi* hindeuten, bei abnorm verspätetem Verschluss der fötalen Augenspalte vorkommen, mögen für den Bestand einer Lücke in jener Gegend sprechen. Dass der Verschluss jener Spalte verschiedene Unterbrechungen erfahren kann, hat Lieberkühn für das Vogelauge erwiesen, bei welchem dieselbe durch den in ihrem hinteren Theil sich durchdrängenden Pecten in drei über- oder hintereinander liegende Abtheilungen gebracht wird, von welchen die dem Ciliarkörper zunächst liegende sich frühe völlig schliesst, während eine anstossende noch längere Zeit als pigmentloser Streifen sich bemerkbar macht und die oberste dem Sehnerven zunächst liegende durch den sich entwickelnden Kamm ausgefüllt wird.

§ 24. Chiasma nerv. opt. Ueber die Entwicklung der dem Gehirn näher liegenden Stücke des Sehnerven — *Chiasma* und *Tractus opt.* — besitzen wir zur Zeit nur ziemlich dürftige Nachrichten, durch welche jedoch ihr genetisches Verhältniss zu den Centralorganen im Wesentlichen festgestellt ist. Als Hauptresultat der wenigen darauf bezüglichen Forschungen hat sich ergeben, dass die *Nervi opt.* allein die ursprüngliche Verbindung zwischen Auge und Gehirn herstellen, das Chiasma und die Tractus aber erst viel spätere Bildungen sind. Da wir nun nicht annehmen können, dass der Sehnerv früher mit anderen Hirntheilen in Verbindung steht, als später, so müssen wir einerseits eine beträchtliche Lageveränderung der letzteren, andererseits die Herstellung noch anderer Communicationen zugeben. Ursprünglich »mündet«, wie schon früher erwähnt, der noch offene Sehnervencanal in die Höhle des Zwischenhirns, später aber wird diese Einmündungsstelle mehr nach rückwärts geschoben und fällt nun dem Mittelhirn zu und macht so den grössten Theil des Bodens der dritten Hirnhöhle aus. Wie wir gesehen haben, schliessen sich die noch lange sichtbaren Mündungen allmählich, indem sie sich dabei einander etwas nähern und so fast zu einer gemeinschaftlichen werden. Ein vollständiges Verschmelzen der beiden hohlen Stiele findet übrigens beim Hühnchen schon in früherer Zeit statt, was Huschke mit veranlasste, die primordiale doppelte Anlage der Sehorgane zu bestreiten. Aber auch nach der Darstellung von His ist die Vereinigungsstelle der Sehnerven schon sehr frühe bezeichnet — es ist das nämlich die Stelle, wo die beiden von ihm Basilarleisten genannten niedrigen Falten an der Basis des Gehirns sich begegnen und hier mit der der Anheftungsstelle

des Darms entsprechenden axialen Auftreibung — dem späteren »Trichter« — zusammentreffen (14 p. 132).

Die Erklärung, welche v. Baer (1 p. 119) über das Zustandekommen des Chiasma gibt, passt ganz besonders gut für die Semidecussation der Sehnerven in demselben, so wie sie jetzt ziemlich allgemein angenommen wird[1]. Die Anlage des Chiasma ist nach ihm gegeben mit einer Ausbuchtung, resp. einem Hervorziehen der untern Wandung des dritten Ventrikels, wie sie durch die Verlängerung der Sehnerven zu Stande kommt. Jeder Sehnerv übt dabei eine Art von Zug an dem seinem Ursprung zugehörigen Theil des Hirnhöhlenbodens, wobei nothwendig die medialen Zuglinien einander kreuzen müssen, während das bei den lateralen nicht der Fall ist; diese Zuglinien finden sich dann in der später auftretenden Faserung ausgeprägt.

Diese Auffassung des Chiasma als eines Theils des Bodens vom dritten Ventrikel ist noch von mehreren Embryologen getheilt worden, ohne dass aber über die Faserbildung in demselben genauere Untersuchungen angestellt wurden. Sehr belehrend ist in dieser Beziehung die Abbildung Fig. 30 Taf. III in Reichert's (57) Werk über den Bau des Gehirns, welche einen Frontalschnitt durch den dritten Ventrikel darstellt, als dessen Boden eben das *Chiasma nn. opt.* erscheint, in welchem die von den Sehhügel herabkommenden die Gehirnschenkel umgreifenden Tractus sich in ihren medialen Fasern kreuzen, während die lateralen geradezu in die homologen Sehnerven übergehen.

Aus der Zeit der Entwicklung gibt uns Lieberkühn dafür eine sehr interessante Abbildung. Dieselbe (Taf. III Fig. 16) stellt einen senkrechten Durchschnitt durch die dritte Hirnhöhle vom fünftägigen Hühnchen dar, in welchem das Chiasma getroffen ist. Die Sehnervenfasern bilden einen äusseren Beleg des Mittelhirns und kommen an dessen unterer Fläche zur Kreuzung; die Optici selbst besitzen noch ihre Höhlung.

Beim menschlichen Embryo erhebt sich die Kreuzungsstelle ziemlich spät vom Boden des Gehirns als isolirte Prominenz, ebenso sind auch die *Tractus opt.* erst spät bemerkbar. Schmidt (58 p. 51) vermisste noch beide bei siebenwöchentlichen Früchten, erst einige Wochen später waren sie sichtbar: die letzteren aber mit dem Gehirn noch so innig verwachsen, dass bei deren Abreissung ein dünnes Blatt von der Oberfläche des Sehhügels sich mit ablöste.

§ 25. Entwickelung der Schutz- und Nebenorgane des Auges. Wie wir in früheren Paragraphen gesehen haben, geschieht die Trennung der Augenblasen von den Hirnblasen nicht nur dadurch, dass jene durch ihr eigenes Wachsthum und ihre Rundung sich von den letzteren abheben, sondern zugleich, oder nach His' Auffassung recht eigentlich dadurch, dass der über die obere Fläche des Medullarrohrs hingespannte Zwischenstrang mit seinen beiden seitlichen Rändern zwischen den Augen- und Hirnblasen einschneidet und sich dabei keilförmig zwischen beide eindrängt. So ist denn das Auge schon in frühester Zeit von den Kopfplatten umgeben, und liegt nicht, wie es nach manchen Zeichnungen scheinen möchte, grösstentheils nackt zu beiden Seiten des Kopfes. Auch in der gegen-

[1] Siehe dagegen die neuesten Angaben von Mandelstamm und Michel (v. Graefe's Archiv XIX. Bd. 2. Abth.).

seitigen Lage der Augen treten in den ersten Entwicklungszeiten mehrfache Aenderungen ein, welche vorzugsweise von der Entwicklung der Gehirnblasen abhängen, insbesondere rücken die zuerst dem Zwischenhirn anliegenden Augenblasen bei der ganz enormen Vergrösserung der vorderen zu den Hemisphären des Grosshirns werdenden Markblasen mehr nach unten und kommen sich dabei verhältnissmässig näher. Die sagittale Axe derselben bildet mit der Längsaxe des Embryo um diese Zeit ohngefähr einen rechten Winkel, welcher erst später nach vorne enger wird, um dann noch später, bei kräftiger Entwicklung des mittleren Stirnlappens, wieder grösser zu werden. Die Augen liegen sich bei einem ein- bis zweimonatlichen Embryo näher, nicht nur absolut, sondern auch relativ näher, als in den späteren Monaten, nachdem die Nase angelegt ist, welche sich mit der unter ihr liegenden Siebbeinanlage zwischen jenen entwickelt. Dass bei diesen Lageveränderungen auch Drehungen des Auges um seine sagittale Axe vorkommen, ist wohl sehr wahrscheinlich, und es deuten darauf manche spätere anatomische Verhältnisse, wie z. B. der Muskeln hin, doch ist Genaueres darüber nicht bekannt. Eine solche Drehung ist jedoch durch die Lage der fötalen Augenspalte bestimmter angegeben. Dieselbe liegt in der ersten Zeit etwas nach unten und aussen, oder gerade nach unten, wenn wir uns den Kopf des Embryo in der späteren aufgerichteten Haltung vorstellen, später jedoch bekanntlich nach innen und unten. Auf eine solche Drehung ist schon früher aufmerksam gemacht worden, sie wird aber insbesondere durch die gewöhnliche Lage des *Coloboma oculi* ausser allen Zweifel gesetzt und sie hat uns auch zum Verständniss der Entstehung des gelben Flecks verholfen.

Die secundäre Augenblase ist nach der Linseneinstülpung völlig in die Kopfplatten versenkt, bildet aber mit diesen zu jeder Zeit eine halbkuglige Hervorragung in der Nähe des Vorderhirns (Augenhügel (Kollmann) (12 p. 272)). Diese Erhabenheit, zu welcher die Kapsel des letzteren, wie auch der spätere Oberkieferfortsatz beitragen, bildet zugleich die Gesammtanlage für die Schutz und Hülfsorgane des Auges. Der Augenhügel ist durch eine tiefe Furche vom äusseren Nasenfortsatz und eine weniger tiefe vom Oberkieferfortsatz getrennt, von welchen erstere wegen ihrer Beziehungen zum späteren Thränennasencanal »Thränenfurche« genannt worden ist. His (14 p. 138) fasst letztere als die untere Abtheilung der schon sehr frühe vorhandenen Augennasenrinne auf, während deren obere zu einer Grube sich erweiternde nach ihm zur Linse wird. Die Thränenfurche stellt somit zu einer Zeit, wo die Mundhöhle noch nicht von der Nasenhöhle getrennt ist, eine Communication mit jener dar. Es bedarf dann nur jener Scheidung der Mundhöhle von der Nase, welche nach Kollmann ohngefähr um die neunte Woche erfolgt, und der weiteren Annäherung der Ränder jener schmalen Rinne, um dieselbe zu einem kurzen Canale zu schliessen, welcher aus der vor dem Auge gelegenen Gegend in die Nasenhöhle führt, wie das bei dem späteren Thränennasencanal der Fall ist.

§ 26. Bildung der Augenlider. Eines der frühesten Ereignisse in der Umgebung der Augen ist nun die Entwicklung der Augenlider. Um dieselbe richtig zu verstehen, müssen wir uns erinnern, dass der grösste Theil der über die secundäre Augenblase hinstreichenden Kopfplatten zu der äusseren Umhüllung derselben, insbesondere der Cornea verwendet worden ist, über welche als Ab-

kömmling des ursprünglichen Hornblattes das Epithel herüberzieht. Freilich ist es ungewiss, ob nicht ein Theil jener Decke bei der Corneabildung verschont und als ein dünner Ueberzug derselben erhalten bleibt, der später als eine *Conjunctiva corneae* aufgefasst werden könnte. Sicher ist, dass zu der Zeit, wo die Lidbildung schon begonnen hat, ein solches Häutchen vom Lidrand aus über die ganze Fläche der Hornhaut sich ablösen lässt, welches, wie ich fand, nicht allein aus Epithel besteht.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass die Erhebung der sich entwickelnden Lider unmittelbar am Hornhautrand, am oberen und unteren wenigstens, beginnt, also in der Cutispartie, welche unmittelbar an den Hornhautrand anstösst. Daraus lässt sich zu einer Zeit, wo ein Orbitalrand, von welchem aus man sich sonst gern das Hervorwachsen einer Hautduplicatur denkt, noch nicht besteht, leicht der Grund für die Entstehung einer solchen erkennen. Es scheint mir, als ob gerade hier die von His für andere Entwicklungsvorgänge so plausibel gemachte Anschauung einer Faltung durch nach gewissen Richtungen beschränktes Wachsthum ganz besonders nahe läge. Die Fixation der Körperdecke an der Hornhaut muss bei weiterem Wachsthum derselben zu einer Faltung führen, welche übrigens anfangs mehr nach rückwärts als nach vorwärts sich erstreckt und darum nie zu einer völligen Lösung des Faltenrands von der Bulbusoberfläche führt. Eine »Conjunctiva« ist deshalb immer vorhanden, wenn auch anfangs und einige Zeit hindurch nur als eine kurze epitheliale Brücke zwischen Lid- und Cornealrand, welche erst später mit dem Vorwachsen des Lids verlängert und nothwendigerweise nach rückwärts eingestülpt wird. Es ist also nicht richtig, wenn von einer nachträglichen Verwachsung der Conjunctiva mit der inneren Lidfläche gesprochen wird, wie das z. B. v. Ammon gethan hat, dem wir übrigens die ausführlichsten Nachweise über die Lidbildung verdanken. Nach seinen zahlreichen Beobachtungen [1]) bildet sich die untere Lidfalte etwas früher als die obere, welche übrigens bald nachfolgt. Doch finde ich eine solche Abtheilung, wie sie dem späteren definitiven Zustande entspricht, in den früheren nicht schon so deutlich ausgesprochen, sondern sehe noch im dritten Monat die Falte als eine mehr ringförmige den Bulbus umgeben. Am äusseren Augentheil ist dieselbe zu jener Zeit fast so hoch, ja fast noch höher, als oben und unten, hier aber so durchsichtig, dass die bläulich durchscheinende Sclerotica kaum bedeckt erscheint; an der medialen Seite dagegen, dem späteren *Canthus internus*, scheint schon frühe eine Hemmung der Faltenbildung einzutreten, wozu vielleicht gerade die Bildung der Thränenrinne die Veranlassung gibt.

Die Lidbildung wird von v. Ammon ohngefähr in den Anfang des zweiten Monats verlegt und soll nicht auf beiden Augen ganz gleichen Schritt halten. Im dritten Monat ist schon eine Lidspalte vorhanden und so weit »geöffnet«, dass immer noch fast die ganze Cornea zu Tage liegt, d. h. die Falten sind noch so kurz, dass deren Rand kaum über den Hornhautsaum herüberragt; von einem Conjunctivalsack ist kaum eine Andeutung vorhanden. Allmählich nähern sich nun aber in ziemlich querer Richtung die beiden Lidränder; die Lidspalte, welche mit ihrem medialen Ende ein wenig nach unten neigt, wird immer enger, und endlich, d. i. im dritten bis vierten Monat, geschlossen. Die sehr gefässreichen,

---

[1]) Arch. f. Ophth. IV. Bd. 1. Heft. Allgem. Einleitung p. 9 ff. und p. 155 ff.

darum röthlichen Lider werden dabei durch die sich mehr vorwölbende Cornea mehr gespannt, während der Bulbus selbst, wegen der um ihn her stattfindenden Verdickung der Kopftheile eine tiefere Lage bekommt, so dass nun der »Augenhügel« mehr und mehr verschwindet. Bei einem aus der elften bis zwölften Woche stammenden Embryo hatte die Lidspalte eine Höhe von 1,6 Mm., eine Breite von 2 Mm. Beide Lider waren kaum 0,5 Mm. hoch, der Conjunctivalsack am tiefsten an der temporalen Seite, wo der Abstand zwischen der Lidcommissur und dem Orbitalrand mehr als 2 Mm. betrug, doch war auch hier der Lidrand an den entsprechenden Hornhautrand angeheftet. Von der Basis der Lider zieht eine sehr feine Membran zum Hornhautrand, welche im medialen Winkel gefaltet ist: erste Anlage der *Plica semilunaris.*

§ 27. Bildung der Augenhöhle. Die Orbita wird zuerst in ihrer hinteren Partie angelegt, und zwar, wie v. Ammon lehrt, in Form eines kleinen Knochenscheibchens, welches von oben her gablig den Sehnerven einfasst und deshalb von ihm *Furca orbitalis* genannt wird. Einen guten Beleg für diese Beobachtung liefert die Orbita der hirnlosen Missgeburten; bei diesen persistirt die Furca in Form einer gebogenen Knochenspange, welche sich von oben über den Pseudosehnerven herüberlegt und manchmal mit dem darunterliegenden Keilbein nur in einer fibrösen, durch das Periost hergestellten Verbindung, anderemal aber auch in einer knöchernen gefunden wird (53 p. 29).

Es wäre also der Keilbeinantheil die erste knöcherne Anlage der Orbita, die andern Orbitalknochen entwickeln sich viel später, so das Siebbein und Thränenbein, sowie der Oberkiefer; auch das Orbitaldach ist lange Zeit hindurch sehr kurz und der *Margo supraorbitalis* selbst noch bei der Geburt sehr stumpf. So bildet die fötale Orbita anfangs eine flache unvollständige Schale, welcher lange Zeit hindurch die äussere Wand fehlt, so dass die Bildung der *Fissura orbitalis sup.* und auch *inf.* erst spät eintritt. Ist aber auch noch ohngefähr im dritten Monat kaum die hintere Hälfte des Bulbus in der Augenhöhle verborgen, wodurch eben das fötale Glotzauge entsteht, so ist doch die Berührung beider eine um so innigere, es ist noch kein Raum für Muskeln und Fett vorhanden, die Orbita ist der genaue Abdruck des hinteren Bulbustheils, und v. Ammon sagt daher mit Recht: »das Auge schafft sich seine Orbita selbst«, ein Satz, welcher für die Erklärung des angeborenen Mangels des Auges (*Anophthalmus congen.*) von grösster Bedeutung ist.

Das Orbitalfettzellgewebe, welches in der ersten Zeit fehlt, tritt erst im vierten oder fünften Monat auf (v. Ammon); ob durch dessen Entwicklung ein Verschieben des Bulbus zu Stande kommt oder ob die Muskeln dabei mitwirken, wird wohl schwer zu entscheiden sein. Ein solches Vorrücken wird auch dadurch angezeigt, dass der bogenförmige Verlauf des Sehnerven später ein mehr gestreckter wird.

§ 28. Augenmuskeln und Thränenorgane. Die äusseren Augenmuskeln erscheinen in ihrer ersten Anlage als eine gemeinschaftliche, von Zellgewebe durchsetzte Masse, welche in der Art eines Retractors sich trichterförmig an die hintere Bulbuswand anlegt; doch scheint die Scheidung schon ziemlich frühe vor sich zu gehen. Im dritten Monat findet man die vorderen Abtheilungen

derselben schon als isolirte dünne Stränge, in welchen die Querstreifung schon sehr deutlich zu erkennen ist; die Muskelbündel selbst sind noch sehr fein und mit Kernen dicht besetzt. Ihre Ansätze liegen ziemlich entfernt vom Cornealrand, mit welchem sie durch eine zarte Bindegewebsmembran in Verbindung treten, bei deren Ablösung auch eine oberflächliche Schicht der Muskeln selbst mit abgezogen wird.

Diese Membran scheint wohl die Anlage der Tenon'schen Fascie, und das spätere Verhalten der vorderen Muskelenden zu derselben hier schon gegeben.

Unter den Muskeln ist um die genannte Zeit der *Rectus externus* bei weitem der breiteste, auf ihn folgt der *R. superior*; der *R. internus* ist kaum halb so breit, als der *R. externus*. Ueber die erste Lagerung der *Obliqui* bin ich nicht ins Reine gekommen; v. Ammon hat den *Obliquus sup.* »in seinem schrägen Verlauf« schon bei dreimonatlichen Embryonen mehrmals deutlich wahrgenommen. Nach seinen Beobachtungen entwickelt sich die Trochlea durch Umlagerung des Muskels mit Knochenmasse, welche gleich anfangs fest mit dem Stirnbein verbunden sei.

Ueber die Entwicklung der Thränenorgane ist noch wenig Genaueres bekannt. Aufgefunden wurde die Thränendrüse verhältnissmässig spät: v. Ammon hat dieselbe im dritten Monat selbst bei genauer Durchforschung der Orbita nicht finden können. In späterer Zeit erscheint dieselbe aber schon in so weit fortgeschrittener Ausbildung, dass man annehmen muss, dass ihre erste Anlage eben doch übersehen worden ist. Nach Kölliker (6 p. 298) entsteht dieselbe, oder vielmehr ihre einzelnen Abtheilungen (beim Menschen am Anfange des vierten Monats), nach Art der Speicheldrüsen als anfänglich solide Wucherungen des Epithels der Conjunctiva, an welchen sich erst später Sprossen und innere Höhlungen bilden. Beim Hühnchen entdeckte sie Remak (2 p. 92) schon am achten Tage ebenfalls als einen einfachen hohlen Cylinder, der mit dem Epithel und der Faserschicht der Conjunctiva zusammenhängt, aber noch keine offene Mündung hat. Auch hier geschieht die Vergrösserung durch solide Sprossen, in welchen Höhlungen entstehen, welche erst nachträglich mit dem Canal des Stammes in Verbindung treten.

Die Entwicklung der Thränenröhrchen ist noch nicht genauer verfolgt; sie scheinen vor der definitiven Formirung des Lidrandes nicht vorhanden zu sein. Im vierten Monat (Ende v. Ammon) liegen dieselben auf der inneren Fläche der Bindehaut auf zitzenartigen Erhebungen, welche schon früher als zungenförmige Verlängerungen des medialen Lidrandes bemerkt werden. Im fünften Monat sind die Thränenpuncte vorhanden und die Canälchen durchgängig.

Bezüglich des Thränennasencanals wurde schon oben bemerkt, dass derselbe aus einer Furche zwischen seitlichem Nasenfortsatz und Oberkieferfortsatz sich bildet, nicht wie v. Baer gemeint hatte, durch Ausstülpung der Mundrachenhöhle. Der vollständige Schluss der fraglichen Rinne geschieht jedenfalls nicht sehr frühe, wenigstens in dessen oberstem Theil, dem späteren Thränensack, den v. Ammon deshalb auch erst später auffinden konnte.

Im Laufe des dritten und vierten Monats rücken die Ränder der sich allmählich vergrössernden Lider einander bis zur Berührung nahe und verschmelzen miteinander. Schweigger-Seidel (59 p. 228) hat gezeigt, dass es sich dabei nicht nur um eine vorübergehende Verklebung handelt, sondern dass ein epitheliales

Zwischengewebe die Verbindung herstellt. Er fand dasselbe beim viermonatlichen Embryo 0,07 Mm. breit und in directem Zusammenhang mit dem Epithelbeleg der äusseren und inneren Lidfläche. Dieses Zwischengewebe gewinnt aber noch dadurch eine besondere histogenetische Bedeutung, dass in ihm, wie jener Forscher fand, sowohl die Cilien mit ihren Talgdrüsen, als auch die Meibom-schen Drüsen entstehen. Letztere scheinen sich viel später als die ersteren zu entwickeln, nämlich erst im sechsten Monat, zuerst als solide Epidermissprossen, in welchen jedoch ziemlich bald centrale Höhlungen auftreten. Die Haarbälge liegen zu dieser Zeit in mehreren Reihen hintereinander und besonders von ihnen aus entwickeln sich Canäle, welche gegen die vordere Lidfläche hin die Lidnaht durchbohren und durch ihre Vermehrung und Erweiterung dieselbe allmählich zerstören. Da etwas Aehnliches weiter nach rückwärts auch von Seiten der Meibom'schen Drüsen geschieht, so ist schliesslich die Verbindung der Lider nur auf den schmalen Streifen zwischen den letztern und den Ciliaranlagen beschränkt, welcher dann bald völlig gelöst wird. Beim Menschen geschieht dies geraume Zeit vor der Geburt, doch ist der übrigens gewiss wechselnde Zeitpunct der Lösung nicht genauer bekannt.

Literaturverzeichniss.

Die ältere Literatur findet man im WEBER'schen Handbuch der Anatomie, sowie in BURDACH's Physiologie in ziemlicher Vollständigkeit aufgeführt; die neueren embryologischen Arbeiten hat WALDEYER in Nagel's ophthalmologischem Jahresbericht pro 1870 zusammengestellt.

1) K. E. v. Baer, Ueber Entwicklungsgeschichte der Thiere. Königsberg 1828.
2) R. Remak, Unters. über die Entwicklung der Wirbelthiere. Berlin 1855.
3) Th. Bischoff, a) Entwicklungsgeschichte des Kaninchen-Eies. 1842. — b) Entwicklungsgeschichte des Hunde-Eies. 1845. — c) Entwicklungsgeschichte des Meerschweinchens. 1852. — d) Entwicklungsgeschichte des Rehes. 1854.
4) Coste, Embryogénie comparée. Paris 1837.
5) Coste, Histoire du devéloppment etc. Pl. II. a. Paris 1847—1860.
6) Kölliker, Entwicklungsgeschichte des Menschen und der höheren Thiere. 1861.
7) Allen Thomson, Edinburgh med. and surg. Journal. 1839.
8) Fr. Arnold, Anatomische und physiologische Unters. über das Auge des Menschen. Heidelberg 1832.
9) R. Wagner, Icon. physiolog. II. Aufl. Taf. 25.
10) J. Müller, Handbuch der Physiologie des Menschen. 1835. II. Bd. p. 713.
11) C. Ritter, Zweiter Beitrag zur Histogenese des Auges. Graefe's Arch. X. 2. p. 142.
12) J. Kollmann, Beitrag zur Entwicklungsgeschichte des Menschen. Zeitschr. f. Biologie. IV. Bd. p. 260. Taf. VII. Fig. 2.
13) Fr. v. Ammon, Die Entwicklungsgeschichte des menschl. Auges. Graefe's Arch. IV. 1. p. 1—226.
14) W. His, Unters. über die erste Anlage des Wirbelthierleibes. Leipzig 1868.
15) S. Stricker, Unters. über die ersten Anlagen in Batrachier-Eiern. Zeitschr. f. wissenschaftliche Zoologie. XI. Bd. 1862. p. 315. — Vergl. dessen betr. Aufsätze in Wiener academ. Sitzungsber. Math.-naturw. Kl. XXXIX. Bd. 1862. p. 472 und in Reich. v. Du-Bois' Arch. f. Anat. u. Physiol. 1864. p. 52.
16) E. Huschke, Ueber die erste Entwicklung des Auges und die damit zusammenhängende Cyclopie. Meckel's Arch. 1832. p. 1.
17) S. Schenk, Zur Entwicklungsgesch. des Auges der Fische. Wiener Sitzungsber. Math.-naturw. Klasse. LV. Bd. p. 480. 1867.
18) N. Lieberkühn, Ueber das Auge des Wirbelthierembryo. Schriften der Gesellsch. zur Beförderung der Naturwissensch. zu Marburg. X. Bd. 5. Abth. 1872.
19) Max Schultze, Arch. für mikroscop. Anatomie. II. Bd. p. 236. 1866.
20) H. Schöler, De oculi evolutione in embryon. gallinac. Diss. Dorpat 1848.
21) L. Kessler, Unters. über die Entwickelung des Auges, angestellt am Hühnchen und Triton. Diss. Dorpat 1871.

22) J. Henle, De membrana pupillari aliisque oculi membranis pellucentibus. Diss. Bonn 1832.
23) G. F. Reich, De membrana pupillari. Diss. Berol. 1835.
24) D. Sernoff, Zur Entwicklung des Auges. Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1872. No. 13. (Originalarb. in der Russ. kriegsärztl. Zeitschr. 1871. p. 54—60.
25) Babuchin, Beitr. zur Entwicklungsgeschichte der Retina. Würzburger naturwissensch. Zeitschr. IV. Bd. 1863.
26) B. Rosow, Ueber das körnige Augenpigment. Graefe's Arch. IX. Bd. 3. Abth.
27) Valentin, Handbuch der Entwicklungsgeschichte des Menschen. Berlin 1835.
28) A. Müller, Die Entstehung der Retina. Allgem. medic. Centralzeitung. 1858. p. 361.
29) Babuchin, Würzburger naturwissensch. Zeitschr. V. Bd. 1864. p. 141.
30) Max Schultze, Arch. für mikroscop. Anat. III. Bd. p. 377.
31) Th. Bischoff, Entwicklungsgeschichte der Säugethiere u. des Menschen. Leipzig 1842.
32) F. Boll, Die Histologie und Histiogenese der nervösen Centralorgane. Berlin 1873.
33) W. Krause, Die Membrana fenestrata der Retina. Leipzig 1868.
34) W. Hensen, Bemerkungen zu W. Krause: die Membr. fenestr. der Retina. Schultze's Arch. für mikroscop. Anat. IV. Bd. 1868.
35) W. Steinlin, Verhandlungen der naturw. Gesellsch. zu St. Gallen. 1864/65: Beitr. zur Anatomie der Retina. p. 17—138.
36) G. Retzius, Om membrana limitans retinae interna. Nord. med. Ark. III. 2. (Referat: Canstatt's Jahresber. pro 1871. I. 1.)
37) C. Ritter, Zur histolog. Entwicklungsgeschichte d. Auges. Graefe's Arch. X. Bd. 1. Abth.
38) Gray, On the Development of the Retina and the optic nerv. Lond. Philos. Transact. 1850. I. p. 189.
39) Babuchin, in Stricker's Gewebelehre: Die Linse. p. 1080.
40) Kölliker, Handbuch der Gewebelehre des Menschen. 5. Aufl. 1867.
41) H. Meyer, Beiträge zu der Streitfrage über die Entstehung der Linsenfasern. Müller's Arch. für Anat. und Physiol. 1851. p. 202.
42) Fr. J. v. Becker, Unters. über den Bau der Linse bei dem Menschen und den Wirbelthieren. Graefe's Arch. IX. Bd. 2. Abth. p. 1. 1863.
43) C. Vogt, Embryologie des Salmones. Neufchatel 1842. p. 72.
44) Th. Schwann, Mikroscop. Untersuchungen etc. Berlin 1839.
45) C. Ritter, Ueber das Centrum der Froschlinse. Graefe's Arch. XII. Bd. 1. Abth.
46) A. Iwanoff, Der Glaskörper. In Stricker's Gewebel. p. 1070.
47) J. Hyrtl, Ein präcorneales Gefässnetz am Menschenauge. Wiener academ. Sitzungsber. LX. Bd. Math.-naturw. Klasse. Abth. 1. p. 769.
48) H. Müller, Notiz über die Netzhautgefässe von Embryonen. Würzburger naturwiss. Zeitschr. II. Bd. p. 222.
49) J. Arnold, Beiträge zur Entwicklung der Blutcapillaren. III. Art. Virchow's Arch. LIV. Bd. Separatabdruck p. 1—23.
50) N. Lieberkühn, Ueber den fötalen Glaskörper. Sitzungsber. der Marburger Gesellsch. zur Beförderung der Naturwissensch. 1871. No. 9.
51) J. Hyrtl, Ueber anangische Netzhäute. Sitzungsberichte der Wiener Academie. Bd. 43. p. 207.
52) Stilling, Eine Studie über den Bau des Glaskörpers. Graefe's Arch. XV. Bd. 3. Abth.
53) W. Manz, Das Auge der hirnlosen Missgeburten. Virchow's Arch. LI. p. 313.
54) Ranvier, Recherches sur l'Histologie et la Physiologie des nerfs. Arch. de Physiol. Tom. IV. 1872. p. 129—149.
55) E. Brücke, Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels. Berlin 1847.
56) Stark, Jenaer allgem. Literaturzeitung. 1835.
57) B. Reichert, Der Bau des menschlichen Gehirns. Leipzig 1861.
58) F. Schmidt, Beitr. zur Entwicklungsgeschichte des Gehirns. Zeitschr. f. wissenschaftl. Zoologie. XI. Bd. p. 43. 1862.
59) Schweigger-Seidel, Ueber die Vorgänge der Lösung der miteinander verklebten Augenlider des Fötus. Virchow's Arch. XXXVII. p. 228.

Capitel VI.

Die Missbildungen des menschlichen Auges.

von

Prof. **Manz** in Freiburg.

Erste Abtheilung.

Einleitung.

§ 1. Häufigkeit des Vorkommens der Missbildungen des Auges. Die Missbildungen des Auges haben zu jeder Zeit die Aufmerksamkeit der Aerzte und Naturforscher, ja sogar der Laien, in besonderem Grade erregt, für jene durch ihre Entstehung und ihren Einfluss auf die Functionen des betroffenen Organs, für diese wegen der mehr oder weniger bedeutenden kosmetischen Störung, welche mit ihnen verknüpft ist. Aber auch in einer anderen Beziehung, der man sich in früheren Tagen allerdings weniger bewusst war, konnten sie besonderes Interesse erwecken, nämlich durch die Häufigkeit ihres Vorkommens. Die Bildungsfehler des Auges sind wohl die häufigsten Monstrositäten; freilich mag diese relativ grosse Frequenz zum Theil darin begründet sein, dass am Auge selbst geringere Abweichungen von der normalen Bildung so leicht bemerkt werden; indessen, wenn auch eine allgemeine teratologische Statistik noch nicht existirt, aus welcher jene Frequenz genauer festgestellt werden könnte, geht doch auch aus der Bildungsgeschichte des fraglichen Organs, wie wir glauben, hervor, dass diejenigen nicht so ganz Unrecht haben, welche den Aufbau des Auges als einen besonders schwierigen und darum gewisse Unvollkommenheiten desselben als sehr naheliegende Vorkommnisse angesehen haben. Dass man dafür die Natur oder eine besondere Lebenskraft verantwortlich gemacht, dass man jener in allem Ernste sogar den Vorwurf der mangelnden Ausdauer oder der Vergesslichkeit, dieser den der Uebereilung gemacht hat, werden wir jetzt belächeln, uns dabei aber doch erinnern, wie es noch gar nicht so lange her ist, dass jene beiden Factoren mit fast persönlichen Machtbefugnissen unter irgend einem, wenn auch vielleicht etwas gelehrter klingenden Namen die ganze Medicin beherrschten und an manchen Orten und in manchen Köpfen auch heutzutage noch spuken. Uebrigens bedürfen wir überhaupt keiner besonderen Gründe, um zu verstehen, dass, je intricater und complicirter die Entwicklungszustände irgend eines Organs sind, um so leichter und öfter Störungen darin vorkommen werden, und, sind sie einmal da, um so grössere Kreise ziehen müssen.

Es gibt, wie aus den folgenden §§ hervorgehen wird, keinen Theil des Auges, an welchem nicht eine angeborene Verunstaltung beobachtet worden wäre, wenn

auch für manche derselben wahrscheinlich ist, dass dieselbe nicht einen ersten Fehler, sondern eine aus dem ersten mit Nothwendigkeit hervorgehende secundäre Anomalie darstellt. Schon deshalb finden sich manche Bildungsfehler dort so selten isolirt, viel öfter mit andern combinirt. Solche Consequenzen vollziehen sich aber nicht nur in Bezug auf die gröbere anatomische Formation und Lagerung, sondern eben so oft auch in der inneren histologischen Structur; beide Störungen aber werden wiederum nicht immer zusammen gefunden, sondern es erfolgt manchmal ein nahezu normaler innerer Aufbau unter äusserlich ganz veränderten Verhältnissen. Die Erklärung für eine solche, sonst erstaunliche Unabhängigkeit liegt wohl zunächst darin, dass die Anlagen der einzelnen Theile, sowie ihre planmässige Zusammenfügung zu einem Ganzen schon vorhanden sind, ehe »die histologische Differenzirung« beginnt. Wir sehen ein solches Verhältniss vielleicht bei keinem Organe so deutlich ausgesprochen, als beim Auge, und es haben sich, wie schon in der Einleitung zum vorigen Capitel bemerkt wurde, daran gewisse Irrthümer geknüpft, welche erst in der neueren Zeit beseitigt werden konnten: es wurde dort schon an die vielen Verwechselungen erinnert, zu welchen die Aehnlichkeit in der äusseren Form zwischen primärer Augenblase und späterem Bulbus in Bezug auf Inhalt und Wandung Veranlassung gegeben hat.

§ 2. Frühere und gegenwärtige Theorien darüber. Wie in der Lehre von den Missbildungen überhaupt, so spiegelt sich insbesondere auch in der oculistischen Teratologie eine Reihe von naturwissenschaftlichen Bestrebungen ab, welche die in derselben gegebenen physiologischen und pathologischen Anschauungen abwechselnd beherrschten. Auch für die Missbildungen des Auges gab es eine lange Periode naiver Bewunderung, kindischen Erstaunens und Erschreckens über die sonderbaren Launen der schaffenden Natur, durch welche Augen in ungewöhnlicher Zahl, von enormer Grösse und an ganz ungewöhnlichen Körperstellen erzeugt wurden, wodurch hin und wieder auch thierähnliche Gesichter zu Stande kamen, was man hervorzuheben nicht versäumte. Hatten in dieser Zeit schon die Beobachtungen resp. Beschreibungen an sich kaum einen Werth, da selbst medicinisch gebildete Männer im Erzählen solcher Wundergeschichten sich überboten, so fehlte es noch viel mehr an einem ernsthaften Versuch, die Entstehung der Monstrosität zu erklären. Alles reducirte sich in dieser Beziehung auf die sehr ausgibige Verwendung des einen ätiologischen Moments, »des Versehens«, welches lange Zeit als Axiom galt und in allen möglichen Variationen gebraucht wurde. Auch Hand- und Lehrbücher, welche der neueren Zeit angehören, haben sich eines Theils jenes unbrauchbaren Materials nicht ganz entschlagen können.

Sehr fruchtbar für die Theorie der Missbildungen war die naturphilosophische Richtung in der Medicin. Nachdem man keine neuen »Naturspiele« mehr auffand, um die Welt damit in Erstaunen zu versetzen und auch die Leichtgläubigkeit diesen Dingen gegenüber stark abgenommen hatte, schienen jene naturwissenschaftlichen Speculationen neue Handhaben zu bieten, um in das Innere der schaffenden Natur einzudringen und dabei auch den Unvollkommenheiten und Verirrungen der Lebenskraft auf die Spur zu kommen. Gab es doch keinen bessern Prüfstein für die Leistungen der letztern, als den wunderbaren Aufbau des Auges, »dieses Meisterstücks der plastischen Kraft«, wie Huschke sagt, und in

der That war man bald in der Lage, der Natur manche Schwächen aufzudecken, welche sie sich bei jener feinsten Arbeit hatte zu Schulden kommen lassen.

Die embryologischen Kenntnisse, welche man sich indessen erworben hatte, gaben Veranlassung zu einer immer mehr anwachsenden Gruppe von Missbildungen, welche auch am Auge öfter vorgefunden wurden; dieselben erhielten den Namen der Hemmungsbildungen *Vitia deficientia*, und sollten ein Stehenbleiben irgend eines Organs auf einer früheren Entwicklungsstufe bedeuten. Was nicht in dieser Gruppe untergebracht werden konnte, wurde als *Vitium primae formationis* angesehen. Da nun, namentlich durch die Autorität des älteren Meckel gestützt, die Lehre des zweitheiligen Aufbaues des ganzen Körpers sowohl, wie seiner einzelnen Theile ganz besondere Verbreitung gewonnen hatte, so wurden alle Andeutungen einer pathologischen Spaltung in irgend einem Organ, so auch am Auge, für Zeichen einer Hemmungsbildung genommen. Man hatte ein »Princip« gefunden und begnügte sich damit, dasselbe möglichst viel zu verwenden, und so finden wir denn auch unter den angeborenen Krankheiten des Auges eine grosse Anzahl von »Hemmungsbildungen«.

Diese Anschauungen reichen bis auf unsere Tage, und es bedurfte eben der Aufnahme neuer und genauerer Forschungen in der Entwicklungsgeschichte des Auges, um auch für jene einen neuen Schritt der Erkenntniss möglich zu machen. Während wir vor Allem eine ebenso unbefangene als genaue Schilderung des Thatbestandes des vorliegenden angeblichen Bildungsfehlers verlangen, versuchen wir jetzt an der Hand der bekannten Daten der Entwicklungsgeschichte ein Verständniss über das Wesen desselben, über den ersten Anstoss seiner Entstehung, über seinen genetischen Zusammenhang mit andern gleichzeitig bestehenden Anomalien zu erlangen. Ist auch der auf solcher Bahn bis jetzt erreichte Erfolg noch sehr bescheiden, sind wir auch vielleicht in keinem Falle noch im Stande, den ersten Grund der Bildungsstörung anzugeben, so haben uns diese Bestrebungen denn doch schon einige Frucht getragen, wovon hoffentlich auch die folgenden Paragraphen Zeugniss geben werden. Wir gehen jetzt nicht mehr von einem »Princip« aus, sondern geben uns Mühe, die Bahn, welche zur Herstellung des fraglichen Befundes geführt hat, Schritt für Schritt auf- resp. rückwärts zu verfolgen, und so uns mehr und mehr jener ersten Störung zu nähern. Dabei haben wir u. A. auch schon gelernt, nicht bei dem Begriff »Hemmungsbildung« stehen zu bleiben, sondern weiter zu fragen, worin denn jene Beeinträchtigung der weiteren Entwicklung gelegen habe, wir haben gelernt, dass es sich dabei nicht um eine einfache Sistirung des Wachsthums eines Körpertheils handelt, während alle anderen vorrücken, wir wollen jetzt wissen, welcher Vorgang die Weiterbildung jenes Theils gehemmt habe? Schon jetzt haben wir mit grösserer oder geringerer Sicherheit einige solche Bildungshemmungen aufgefunden, welche für die anomale Bildung des Ganzen verantwortlich gemacht werden müssen.

Die grösste Schwierigkeit bei solchen Untersuchungen liegt, neben der so sehr vom Zufalle abhängigen Gewinnung des Materials, darin, dass die betreffenden Fälle fast nie in unsere Hände kommen zu einer Zeit, wo jener hemmende Vorgang zu wirken angefangen hat, sondern erst dann, wenn in der ganzen Kette der Entwicklung schon mehrere kranke Glieder enthalten sind, wo es dann äusserst schwierig ist, die primäre Störung, den Ausgangspunct der Anomalie herauszufinden.

In dieser Beziehung fehlen uns namentlich noch recht genaue Kenntnisse über die Gefässanlagen des fötalen Auges, bei denen wir in so vielen Fällen einen ganz besondern Einfluss auf anomale Bildungen voraussetzen; und zwar ist es hier nicht nur das in den Gefässen circulirende Blut, welchem wir etwa Ernährungsstörungen zuschreiben dürften, sondern es sind die Gefässe selbst, deren Bildung und Rückbildung gewisse mechanische Effecte hervorbringen müssen, welche dabei in Betracht kommen.

§ 3. Ausgangspuncte der Bildungstörungen. Wir können in der normalen Entwicklung des Auges vier Stadien unterscheiden, an deren Eingang jeweils ein Process steht, welcher für den weiteren Verlauf entscheidend ist und in welchem darum auch am häufigsten der Ausgang für Entwicklungsstörungen gesucht werden muss.

Für die erste Periode, die erste Anlage der primären Augenblase, liefert uns die Teratologie bis jetzt noch kein sicheres Material. Der unmittelbare Connex jener Auswüchse mit dem Stamm des Medullarrohrs scheint irgend welche Störung des einen oder des andern gleich zur Existenzfrage nicht nur des Sehorgans, sondern des ganzen Organismus zu machen, und wohl in den meisten Fällen zur Verrichtung des letztern oder wenigstens eines Theiles seines centralen Nervensystems zu führen. Wir haben kein gut verbürgtes Beispiel eines aus der ersten Zeit herrührenden völligen Mangels der Sehorgane bei normal entwickeltem Gehirn. Wir werden sehen, dass die bis jetzt bekannten Fälle von Anophthalmus, einer früheren Auffassung entgegen, eine solche Deutung nicht zulassen.

Auch aus dem zweiten Act der Ophthalmogenese, der Bildung der secundären Augenblase durch die Linseneinstülpung, fehlt es uns noch an darauf zurückzuführenden Monstrositäten; auch hier darf der spätere Mangel der Krystalllinse nicht einfach für eine unterbliebene Anlage derselben genommen werden, da einzelne Beobachtungen direct auf eine Zerstörung des Gebildeten oder wenigstens auf eine nachträgliche Störung der histologischen Metamorphose desselben hinweisen. Dagegen haben wir in einer lange Zeit nicht recht verstandenen, vorübergehenden Bildung des Fötusauges gewiss eine um so ergibigere Quelle für Bildungshemmungen, als gerade hier die Gefässe eine grosse Rolle spielen: ich meine die fötale Spalte des Auges. Fehlt uns auch hier noch die Kenntniss des letzten Grundes, wissen wir auch hier noch nicht, ob er in einem abnormen Verhalten jener Gefässe steckt, so viel ist sicher, dass die Schliessung jener Spalte manchmal zu spät oder gar nicht erfolgt, und dadurch Veranlassung zu den grossartigsten Formanomalien des Bulbus gegeben wird, wie aus der Lehre vom Colobom und Mikrophthalmus zu ersehen ist. Mit der sich allmählich vollziehenden Schliessung des Augapfels entwickeln sich dann auch mehr und mehr die mechanischen Wirkungen des intraocularen Drucks, welche während der Bildung des Organs wohl noch extensivere sein werden, als im vollendeten Augapfel, und jedenfalls hier schon Formveränderungen anlegen, wie wir sie bei der Geburt häufig als anatomische Basis gewisser Refractionsanomalien vorfinden.

Eine grosse Zahl von Bildungsfehlern des Auges datirt aus einer noch späteren Entwicklungsperiode, die wir zusammen als vierten und letzten Abschnitt bezeichnen können, und gerade diese bleiben im Allgemeinen mehr auf einen Theil des Organs beschränkt, ohne dessen Bau im Ganzen wesentlich

zu modificiren: es gehören dahin gewisse Anomalien der Iris, der Cornea, namentlich auch der sogenannten Adnexa des Auges.

§ 4. Fötalkrankheiten des Auges. Unter den angeborenen Anomalien des Auges gibt es aber nicht wenige, welche gar nicht als Bildungsfehler aufzufassen, sondern die Resultate fötaler Augenkranheiten sind. Für diese Herkunft, an welche man früher in der Sucht, Alles aus irgend einem abstrahirten oder a priori construirten Bildungsprincip zu erklären, wenig gedacht hatte, haben sich in der neuesten Zeit unbestreitbare Belege gehäuft, und wir kennen jetzt schon für das Fötusauge eine grössere Zahl von Repräsentanten von Krankheiten, wie sie auch im späteren Leben vorzukommen pflegen, ausserdem ist für einzelne derselben der eigentliche traumatische Ursprung in hohem Grade wahrscheinlich geworden. Dass die krankmachende Ursache auch abgesehen von dem letzteren, in der Mutter liegen kann, ist ja durch die hereditäre Syphilis, welcher namentlich von englischen Autoren ein grosses Feld in der Pathologie des Auges eingeräumt wird, längst ausser Zweifel gesetzt[1].

Sehen wir uns nach den übrigen ätiologischen Momenten der angeborenen Augenkrankheiten um, so können wir uns wohl eine nähere Erörterung des früher allgemein und bei den Laien auch jetzt noch geltenden Einflusses des sogenannten »Versehens der Schwangeren« ersparen: wer über den eigentlichen Werth der dafür vorgebrachten sogenannten Thatsachen sich noch näher unterrichten will, den verweisen wir auf die verständige Darstellung, welche der grosse Anatom Sömmering, dem auch die Teratologie manche wichtige Beobachtung verdankt, in der unter (138) citirten Schrift davon gegeben hat.

Aber auch das immer so sehr urgirte Moment der Vererbung, welches wohl jetzt durch die Darwin'sche Hypothese einer neuen Cultur entgegensieht, ist, wie sich bei genauerer Durchforschung der vorliegenden Beobachtungen ergibt, jedenfalls nicht in solchen Umfang wirksam gewesen, wie man früher gemeint hat, da in vielen Beispielen nicht, wie man doch erwarten müsste, eine und dieselbe Anomalie, sondern überhaupt nur irgend eine in mehreren Generationen einer Familie sich gezeigt hat. Doch gibt es für den Einfluss der erblichen Anlage wenigstens einige ganz ausgezeichnete Belege, welche dem einzelnen Fall um so deutlicher den Stempel des Bildungsfehlers aufdrücken.

Häufiger noch als die Wiederholung einer Bildungsanomalie im descendirenden Verwandtschaftsverhältnisse ist das Vorkommen derselben bei mehreren Gliedern derselben Generation, wobei aber fast immer nur einige Geschwister, höchst selten alle befallen sind. Es gibt das der Vermuthung Raum, als ob ein durch einige Zeit bestehendes, vor- und nachher aber nicht vorhandenes krankhaftes Moment im Entwicklungsboden, vielleicht auch in den mütterlichen Generationsorganen oder selbst im mütterlichen Blut (Albinismus?) während der Entwicklung mehrerer unmittelbar nacheinander befruchteter Eier zur Einwirkung käme.

Zur Lösung dieser und ähnlicher Fragen, welche alle Missbildungen berühren, müssen erst neue Wege gegangen werden, von welchen der des patho-

---

[1]) Vgl. Panas: Cas d'atrophie de l'oeil gauche par suite de variole intra-utérine. (Gaz. d. Hop. p. 571.

logischen Experiments, so wenig er für diese Zwecke bis jetzt cultivirt ist, doch schon zu recht aufmunternden Resultaten geführt hat (G. St. Hilaire, Erdl, Valentin, Dareste, Gudden u. A.). Des Letzteren Experimente haben insbesondere nachgewiesen, von welch grossartigen Folgen die Zerstörung von Sinnesorganen bei jungen Thieren auch für die Centralorgane des Nervensystems begleitet ist, wie sie für den erwachsenen Zustand fast niemals eintreten.

Zweite Abtheilung.

Angeborene Anomalien einzelner Bulbustheile.

§ 5. Coloboma iridis. Die angeborene Irisspalte ist eine der häufigsten und zugleich interessantesten Missbildungen des Auges; letzteres insbesondere, seitdem wir wissen, dass die Spaltbildung sich dabei sehr häufig nicht auf die Regenbogenhaut beschränkt, sondern nur den am lebendigen Auge allein sichtbaren Theil einer auch andere verborgene Partieen seiner Hüllen betreffenden Spaltbildung vorstellt. Während man früher sich nur mit den verschiedenen Formen des Iris-Coloboms beschäftigte, ohne eine Erklärung für seine Entstehung zu finden, da die normale Iris nirgends und zu keiner Zeit eine Spalte besitzt, haben neuere Untersuchungen theils am enucleirten Bulbus, theils und besonders häufig mittelst des Ophthalmoscops Defecte in den rückwärtigen und inneren Theilen desselben aufgedeckt, mit welchen die offen daliegende, längst bekannte Irisspalte im innigsten genetischen Connex steht.

Ausser diesem genetischen Zusammenhang zeigte sich aber oft genug auch ein anatomischer, so dass die Spalte die ganze Dicke der Bulbuswandung fast in einem ganzen Meridian durchsetzte, oder es war dieselbe durch mehr weniger entwickelte Brücken normalen Gewebes unterbrochen und in einzelne Stücke getheilt, von welchen jedes aber auch in völliger Isolirung beobachtet worden ist. Es fanden sich so ausser und neben der Irisspalte solche im *Corpus ciliare*, in der Sclerotica, Choroidea, Retina, Sehnervenscheide, und hatten sogar der Contenta des Bulbus — Linse und Glaskörper — ihre deutlichen Spuren aufgedrückt. Alle diese Defecte stellen somit nur die Theile einer viel grossartigeren Missbildung vor, des *Coloboma oculi*. Wir wenden uns zuerst zu der Beschreibung der Partial-Colobome, um sie nachher im Zusammenhang zu betrachten.

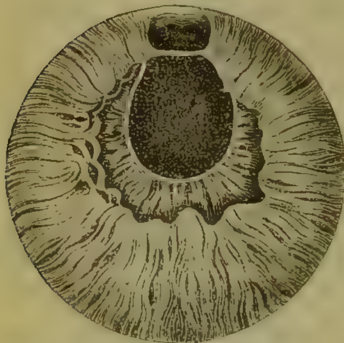
Das *Coloboma iridis* oder Iridoschisma, wie es von Gescheidt (1) genannt wurde, erscheint als ein Defect in der Iris, der immer nur einen kleineren, höchstens den vierten Theil ihrer Circumferenz in Anspruch nimmt und darum immer eine Spalte vorstellt, eine Spalte aber von sehr verschiedener Ausdehnung und Form. Einigen dieser Formen hat man besondere Namen gegeben, die aber eine sehr ungleiche Bedeutung haben. Die häufigste Form der Spalte ist die Eiform, oder besser die eines gothischen Bogens, im Allgemeinen die eines gleichschenkligen Dreiecks, dessen Basis an der Pupille, dessen Spitze in der Nähe des Ciliarrandes gelegen ist; die zwei längeren Seiten sind dabei dann fast nie gerade, sondern immer ausgebogen, wodurch eben oben erwähnte Aehnlichkeiten zu Stande kommen, manchmal verschmälert sich dann die Basis ein wenig, wodurch übrigens weniger wichtige Varietäten veranlasst werden. Die Spitze kann dabei ganz am Ciliarrand oder etwas weiter nach innen liegen, was man als partielles

und totales Colobom unterschieden hat. Nicht viel weniger häufig hat aber das Colobom nicht convergente, sondern parallele oder sogar divergente Ränder, so dass dasselbe an seinem peripheren Ende breiter ist als am pupillaren, ein Verhalten, welches man mit einem Schlüsselloch verglichen hat, mit einem gewissen Recht besonders dann, wenn innerhalb des kleinen Kreises der Iris noch eine etwas verengte Stelle sich findet: ohne dieses muss natürlich die normale Pupille zum Schlüsselloch beitragen. Die Benennung Kometenpupille, von Helling ursprünglich für die Colobompupille überhaupt gebraucht, wurde später auch der oben beschriebenen Form beigelegt. Eintheilungen, auf die verschiedene Form begründet, sind von mehreren Autoren [1]) versucht worden, haben aber, da sie entweder auf unwesentlichen Eigenschaften basirten, oder weil ein gemeinschaftliches Eintheilungsprincip fehlte, keine weitere Anerkennung gefunden.

Von besonderem Interesse ist das sogenannte Brückencolobom (Col. à bride Cornaz (3)), bei welchem die am Pupillarrand liegenden Enden der Spaltränder, die sonst bald als stumpfe Spitzen in die Pupille hineinragen, bald sich ohne weitere Markirung in den Pupillarrand verlieren, durch eine Membran oder einen Faden miteinander in Verbindung stehen. Das erstere Verhalten gehört dem incompleten oder superficiellen Colobom an, das letztere beruht wohl meistens auf Resten der Pupillarmembran; doch können wohl auch Fälle vorkommen, wo, wie wir das bei der Chorioidalspalte finden werden, an einer Stelle eine spätere Vereinigung der Spalte geglückt ist.

Die Entscheidung, welches dieser Verhältnisse vorliegt, kann bei genauer Untersuchung, insbesondere sorgfältiger Durchmusterung des Pupillargebietes mit focaler Beleuchtung im einzelnen Fall nicht schwierig sein. Aus der letzten Zeit finden wir einen von Saemisch (18 p. 85) und einen von Talko (4) beschriebenen Fall von Iriscolobom, bei welchen die Ränder des Coloboms im Zusammenhang standen mit feinen Fäden, welche auf der vorderen Linsenkapsel verliefen. Der Ursprung dieser Fäden, nicht vom Sphincter, der hier ohne Ecken in die inneren Spaltränder sich fortsetzte, sondern von den auf der vorderen Irisfläche liegenden Fasern bestätigte die Diagnose einer *Membr. pup. perseverans*. Eine andere Art von Brücke findet sich am häufigsten am peripherischen Ende des Coloboms, kann aber auch über das ganze sich ausbreiten, oder vielleicht auch am Pupillarrand isolirt auftreten. Es ist das eine meist schwärzliche, darum oft schwer sichtbare zarte Membran, welche den Fundus der Spalte bildet und ziemlich häufig die peripherische Spitze derselben zurundet. Hier durchsetzt der Defect also nur die oberflächlichen Schichten der Iris — Muskel- und Bindegewebslager — während ihre innerste Schicht, die sogenannte Uvea, ganz erscheint. Ein solches Colobom wird am besten als incompletes oder superficielles bezeichnet und kann dabei wieder partiell oder total sein.

Fig. 4.



Brückencolobom nach Saemisch.

---

[1]) Gescheidt unterschied drei Grade: Spalte bis zum Ciliarrand mit divergenten Rändern: erster Grad; solche mit convergenten Rändern: zweiter Grad; und nicht bis zum Ciliarrand reichende Spalte: dritter Grad. Fichte (2) trennt vollkommene und unvollkommene Spalten, und meint damit, was Andere mit partiell und total bezeichnen.

Schon Schön hatte aus einem solchen Befund den anatomischen Schluss gezogen, dass die Iris keine einfache Membran sei, sondern aus der Uvea und der eigentlichen Iris bestehe, was noch nicht durch die Anatomie, und neuestens erst durch die Entwicklungsgeschichte nachgewiesen worden ist.

Manchmal findet man die Spaltränder auch nur durch die Uvea eingesäumt oder diese ragt als kleine bräunliche Excrescenzen hinter jenen hervor, ohne dass dieselben den gegenüberliegenden Rand erreichen.

Von wesentlichem Einfluss auf die Gestalt und Lage der Pupille sind, wie Stellwag (5 p. 180) gezeigt hat, die Muskelverhältnisse der Iris, sowie die Anwesenheit einer Spalte im Ciliarkörper. Auf die letztere kommen wir später noch zurück; in ersterer Beziehung entscheidet gewissermaassen das Machtverhältniss der beiden Irismuskeln, dessen Gleichgewicht die Eiform der Spalte herbeiführt, wobei dann die Fasern des Sphincter mehr und mehr eine radiäre Richtung annehmen, während beim Schlüssellochcolobom ein so allmählicher Uebergang der einen Faserrichtung in die andere nicht stattfindet. Einem gemeinschaftlichen Zuge der ineinander einbiegenden Sphincter- und Radiärfasern folgt schliesslich die ganze Pupille und nimmt eine mehr weniger excentrische Lage ein, wie sie fast nur bei der Eiform des Coloboms beobachtet wird. Diese excentrische Stellung der Pupille, gewöhnlich Korectopie genannt, setzt jedoch nicht immer einen wirklichen Spalt der Iris voraus, sondern kann, wie unten gezeigt werden soll, auch durch eine ungleichmässige Entwicklung derselben an irgend einer Stelle veranlasst und darum nach allen Seiten hin gerichtet sein. Der Grad der Excentricität ist dabei ein sehr verschiedener und manchmal so bedeutend, dass die Pupille nur als ein kleiner Ausschnitt des Ciliarrandes, somit als eine Dialyse erscheint: solchen höheren Graden liegt dann wohl immer ein Colobom zu Grunde.

Den niedersten Grad der Irisspalte, oder eigentlich nur eine Andeutung derselben stellt das Pseudocolobom (Cornaz) dar, eine besondere Form der partiellen unilateralen Heterochromie der Iris. Dasselbe erscheint in der Regel als ein schmaler radiärer Streifen, der durch eine meistens hellere Färbung vor der übrigen Iris ausgezeichnet ist. Seine Ausdehnung und Lage im unteren oder innen-unteren Quadranten der Regenbogenhaut erleichtern seine Unterscheidung von den sonst so häufig vorkommenden Flecken derselben, die ohnehin meistens dunkler sind, als das übrige Irisparenchym. Es stellt so das Pseudocolobom eine Art Raphe der Iris dar, wie wir sie auch im *Corpus ciliare* finden (vgl. § 6).

Nach den meisten Beobachtungen trifft man die Irisspalte viel häufiger nur auf einem Auge, denn auf beiden, doch zeigt das zweite Auge dabei manchmal gewisse kleinere Abweichungen in der Form der Pupille oder der Farbe der Iris, welche als unvollkommene Anlage jener Missbildung angesehen werden müssen, oder es verräth die anatomische Untersuchung oder der Augenspiegel Spaltbildungen im Innern des Auges. Wiederum viel häufiger wurde das Colobom auf dem linken Auge gefunden als auf dem rechten, was vielleicht mit der Seitenlage des Embryo zusammenhängt.

Die Entwicklungsgeschichte weist der Irisspalte ihre Lage im unteren Segment der Iris an, und in der That hat man dieselbe fast immer nach unten oder nach innen-unten gerichtet gefunden. Es werden zwar in der Literatur auch einzelne Fälle einer anderen Lage aufgeführt, die aber doch erst einer genaueren Untersuchung bedürften, ehe man darin eine Abweichung von den

bezüglichen Entwicklungsgesetzen zugeben, insbesondere eine andere als die gewöhnliche Augenspalte annehmen müsste, wie v. Ammon beim Hühnchen eine zweite nach oben gerichtete beobachtet haben will. Auch von einer die ganze Breite der Iris durchsetzenden sogenannten diametralen Pupille ist nur ein Fall erwähnt (Tourtual (6)), wodurch eine schräggestellte Katzenpupille gegeben war, der aber doch auch nicht genau genug constatirt ist; ausserdem verrathen manche jener abnorm gelagerten Colobome mehr oder weniger deutlich einen traumatischen Ursprung.

Von der Form des Coloboms und dem, wie wir sahen, nicht immer gleichen anatomischen Verhalten der Irismuskeln an dessen Grenzen hängt nun auch die Form und Grösse der Bewegung der ganzen Pupille ab. Diese muss natürlich verschieden ausfallen, je nachdem der Sphincter in der Spalte vollständig fehlt oder mit den Faserzügen des Dilatator in irgend einer Art verwoben und dadurch ein Fixationspunct für die Pupillarbewegung gegeben ist. So finden wir denn auch darüber bei den Beobachtern sehr verschiedene Angaben. Bald wurde die Pupillarreaction im Ganzen sehr träge gefunden, bald war sie auf die natürliche Pupille beschränkt, bald nahmen auch die Ränder des Coloboms daran Antheil. Dabei änderte sich dessen Form durch Ausgleichung der vorspringenden Sphincterecken, die Schlüsselloch- oder Schiessschartenform verwandelte sich in die Eiform. Die bei der Contraction stattfindende breitere Entwicklung der oberen Irispartie schiebt dabei die ganze Pupille nach abwärts. Ein Verschwinden der vorspringenden Sphincterecken, also eine Erweiterung der Spalte, muss bei der Contraction dann zu Stande kommen, wenn der Sphincter in jenen Ecken oder in deren Nähe endigt, hier durch die Spalte einfach unterbrochen ist. Die künstliche Dilatation der Pupille durch Mydriatica bewirkt fast immer eine starke Verbreiterung des Coloboms: unvollständige, nur einen Theil der Irisbreite durchsetzende Spalten können dadurch zum völligen Verschwinden gebracht werden.

§ 6. Coloboma choroideae. An den oben beschriebenen Defect der Iris, der wohl schon in früheren Zeiten auffallen musste [1]), schliesst sich nun in vielen Fällen — in welchem Verhältniss, ist gegenwärtig noch nicht zu sagen, da bei den früheren die Untersuchungsmittel nicht ausreichten, und bei den gegenwärtig vorkommenden von den nicht complicirten Iriscolobomen, wenn sie nicht etwas Besonderes bieten, wenig Notiz genommen wird — in vielen Fällen jedenfalls eine defectuöse Bildung im Innern oder in weiter nach rückwärts gelegenen Theilen des Auges. Seit v. Ammon 1831 die erste Section eines mit Colobom der Choroidea und Retina behafteten Auges veröffentlichte, insbesondere aber seit Gebrauch des Augenspiegels sind nun auch jene und ähnliche Missbildungen häufigere Erscheinungen geworden, so dass es jetzt schon möglich ist, eine, zwar noch nicht ganz lückenlose, Serie verschiedener Grade und Modificationen derselben zusammenzustellen, zu deren völligem Verständniss und ganz allgemeiner Begründung allerdings noch die mikroscopische Untersuchung, angestellt mit den Mitteln und den neuesten histologischen Erfahrungen, fast ganz fehlt, da aus unseren Tagen eigentlich nur eine einzige solche Untersuchung in ihren Resultaten vorliegt, die wiederum durch andere, am untersuchten Auge vorhandene, pathologische Des-

---

1) Schon Albin kannte das Coloboma iridis, s. Zeiss (7).

organisationen in mancher Hinsicht nicht ganz rein sind. Bei den früheren Sectionsbefunden, wie sie von v. Ammon, Arlt, Stellwag u. A. gegeben wurden, war meistens schon die Conservation des Bulbus in Weingeist der feineren Untersuchung nicht besonders günstig: immerhin sind die meisten wesentlichen Puncte, um die es sich dabei handelt, durch jene Forscher zur Evidenz aufgeklärt worden.

Der weitaus häufigste Befund in den hierhergehörigen Fällen ist ein partieller Defect in der Aderhaut, welcher als eine wenig oder gar nicht pigmentirte Stelle am Boden des Bulbus auffällt. Die Ausdehnung dieses Defects, sowie dessen Form ist in den einzelnen Fällen eine verschiedene, doch lässt sich auch hier, für die mittleren Grade wenigstens, eine gewisse Uebereinstimmung auffinden. Häufig nämlich bildet die weissliche Stelle ein Oval, dessen längerer Durchmesser einem Meridian des Bulbus entspricht. Oefters hatte das Colobom eine Schildform mit hinterem (oberem) abgerundeten Rande, während an den vorderen (unteren) eine Spitze angesetzt war, welche bis in das *Corpus ciliare* nach vorne reicht. Das hintere Ende des Defects erstreckt sich bis in die Nähe des unteren Randes des Sehnerveneintritts, oder nimmt diesen in sich auf, ja wurde selbst über dem oberen Rand noch in einiger Breite gefunden, so dass der Opticus ganz vom Defect eingeschlossen war. Die Breite desselben wechselt häufig an verschiedenen Stellen: am grössten ist sie meistens in der Aequatorgegend, doch findet sich auch von Stelle zu Stelle ein sehr schroffer Wechsel. Es ragen nämlich von dem einen oder andern Seitenrand aus schmale, meist pigmentirte Fortsätze in den Defect hinein, die dem gegenüberliegenden Rand sich nähern oder mit einem ähnlichen Fortsatz zusammentreffen und so eine Brücke bilden, wodurch das Colobom in mehrere hintereinanderliegende Abtheilungen getheilt erscheint, von denen jede dann wieder eine verschiedene Grösse haben kann, doch liegt in der Regel die kleinste zu oberst, so dass auch dadurch eine Verschmälerung des ganzen Coloboms nach hinten resp. oben angedeutet wird. Die Ränder desselben zeigen meistens eine besonders starke dunkle Pigmentirung, als ob hier eine Admassirung des in der nächsten Nachbarschaft fehlenden Pigments stattgefunden hätte. Wir finden solche Pigmentansammlungen auch häufig genug in normalen Augen, wie z. B. in der Umgebung der Papille.

Die Farbe des Coloboms ist im Uebrigen im Augenspiegelbilde eine ziemlich lebhaft weissglänzende, wie wir sie bei anderweitigen pathologischen Entblössungen der inneren Skleralfläche zu sehen gewohnt sind, doch mischt sich an manchen Stellen jenem Reflex mehr oder weniger Grau bei, auch kommen darin dunkle bräunliche Stellen vor. Besondere Abtonungen der Färbung sind aber dadurch veranlasst, dass die weissen Partieen meistens zugleich Vertiefungen vorstellen, d. h. dass an diesen Stellen die Sclerotica nach unten ausgebuchtet ist. Diese Ausbuchtung, für welche uns einige genaue anatomische Untersuchungen vorliegen, entspricht gewöhnlich dem Choroidealdefect, erhebt sich mit mehr weniger steilen Rändern von der umgebenden Sklera und zeigt ihre grösste Tiefe meistens in der Gegend des Aequators. Sind die Grenzen des »Staphyloms« auch auf der äusseren Bulbusoberfläche oft keine besonders scharfen, so sind sie das um so mehr auf dessen innerer Fläche, ja es ragen die Ränder der Grube manchmal sogar ziemlich scharf gegen diese hinein, zeigen sich etwas unterhöhlt. Ist das auch äusserlich ausgedrückt, so erscheint das Staphylom

der unteren Bulbuswandung wie aufgesetzt, der Boden der Grube zeigt dabei oft nicht eine gleichmässige oder vielmehr vom vorderen zum hinteren Rande gleichmässig zu- resp. abnehmende Tiefe, sondern eine an einzelnen Stellen sehr verschiedene, wodurch dann mehrere hintereinanderliegende Gruben gebildet werden, und zwar geschieht dieses durch querlaufende erhabene Leisten, welche die einzelnen Etagen der Gesammteinsenkung begrenzen. Diese Unterabtheilungen sind aber äusserlich nicht immer wahrzunehmen. Ausser diesen brückenartigen Querleisten sind jedoch in einigen wenigen anatomisch untersuchten Fällen auch longitudinale Erhebungen beobachtet worden, wodurch das Colobom in zwei seitliche Abtheilungen zerfiel (Stellwag, Hannover), eine Abtheilung, welche jedoch nicht jedesmal durch die ganze Länge desselben durchgeführt war, da jene Längsleiste nicht bis zu seinem vorderen Ende reichte.

Besondere Aufmerksamkeit musste an solchen Augen ein Auswuchs der Sclerotica erregen, welcher von einigen Autoren (v. Ammon (8), Stellwag (10) und schon früher von Demours) auf deren äusserer Fläche und zwar in nächster Nähe der Sehnerveninsertion, also hinter dem Colobom gefunden wurde. Derselbe zeigte sich als ein ziemlich solider etwa erbsengrosser Körper, der aber doch auf dem Durchschnitt kleine Höhlungen aufwies, welche durch derbe Septa voneinander geschieden, der ganzen Excrescenz einen drüsenähnlichen Character verliehen. Im Wesentlichen ist dieselbe jedoch auch als ein *Staphyloma sclerae* anzusehen, das nur durch eine mächtige Entwicklung von Querscheidewänden in solche kleine Loculamente getheilt wurde. Die Innenfläche der Sklera zeigte an der dem Auswuchs entsprechenden Stelle eine siebförmige Durchlöcherung, d. h. eine grosse Zahl kleiner Oeffnungen, welche in die erwähnten kleinen Ausbuchtungen führten. Die genannten Autoren fanden den rundlichen Körper in ziemlich inniger Verbindung mit der Opticusscheide, doch etwas nach vorn (und unten) von derselben gelegen.

Um das äussere Aussehen solcher colobomatöser Bulbi in der Beschreibung zunächst noch zu beendigen, ist noch anzuführen, dass den meisten Beobachtern eine Abnormität in der Form der Hornhaut auffiel, welche sich dadurch kennzeichnete, dass der Hornhautrand keinen Kreis bildete, sondern eine nach unten gerichtete Verziehung zeigte, sich nach der Gegend des Coloboms hin auffällig verschob. Die Krümmung der Cornealoberfläche verhielt sich dabei übrigens verschieden: für manche Fälle ist eine Verstärkung derselben, und zwar theils in konischer theils in sphärischer Gestalt angemerkt, in anderen nur deren abnorme Kleinheit hervorgehoben, letzteres auch dann, wenn sonst kein Mikrophthalmus vorhanden war. Wir werden sehen, dass eine solche Birnform der Hornhautbasis auch mit gewissen gröberen Formveränderungen im Innern des Bulbus zusammenhängt, indem sie sich ganz gewöhnlich am *Corpus ciliare*, manchmal auch, obschon viel seltener, an Krystalllinse und Glaskörper wiederholt. Jene Veränderung trifft sowohl den Ciliarmuskel als die *Processus cil.*: die ganze Ebene des Ciliarkörpers erscheint nämlich so geneigt, dass ihr oberer Umfang etwas nach vorne, der untere ein wenig nach hinten steht, ohne dass deshalb dessen Breite ebenfalls vermindert wäre, nur findet sich auch hier eine Abweichung von der Kreisform, wie sie oben von der Hornhaut beschrieben wurde.

§ 7. Mikrophthalmus mit Coloboma. Die durch das beschriebene Skleralstaphylom hervorgebrachte Deformität bleibt nun aber durchaus nicht immer auf die von demselben eingenommene Bulbusgegend — wie erwähnt, immer die untere — beschränkt, sondern beeinflusst manchmal in geringerem oder höherem, ja sogar sehr hohem Grad, die Grösse und Form des ganzen Augapfels. Es sind in der Literatur einige, wenn auch nicht gerade zahlreiche, sehr merkwürdige Fälle von sogenanntem Mikrophthalmus höchsten Grades beschrieben, bei welchen auf Grund eines vorhandenen Staphyloms resp. Coloboms die Ausbildung des Bulbus im Uebrigen so zurückgeblieben war, dass derselbe eigentlich nur als ein kleiner deformer Appendix dem zu einer grossen Blase ausgedehnten Skleralstaphylom aufsass, und es wird aus diesen Fällen sehr wahrscheinlich, dass auch bei dem sogenannten Anophthalmus es sich um eine solche secundäre oder consecutive Verkümmerung des Bulbus handelte, besonders wenn, wie von mehreren Schriftstellern bemerkt wird, ein irgend wie gestaltetes kleines Rudiment eines Auges in der Tiefe des Conjunctivalsackes gesehen oder getastet wurde.

Von einem solchen Mikrophthalmus sehr hohen Grades und seinen Beziehungen zu dem Bulbuscolobom gibt die Beschreibung, welche Arlt (12 p. 445) von einem solchen Falle lieferte, die beste Anschauung, weshalb sie in ihren wesentlichsten Puncten hier beigesetzt werden soll:

Bei einem neun Monate alten Kinde fand sich beiderseits in der Tiefe eines sonst leeren Bindehautsackes ein kleiner weisslicher Körper, welcher bei der Section als kleiner oberer Theil einer Cyste sich herausstellte, welche einen Längsdurchmesser von 2,5 Cm. hatte, und die beiden unteren Augenlider zu nussgrossen Hervorragungen herausdrängte. Die Muskeln und anderen Adnexa des Bulbus waren vorhanden und zum Theil normal gebildet: auch ein *Nervus opt.* inserirte sich an jene Blase, von dem aber keine nähere Beschreibung gegeben wird. Die Cyste war mit einer eiweisshaltigen Flüssigkeit gefüllt; zunächst der Eintrittsstelle des Sehnerven lag eine rudimentäre Linse, nebstdem »die Elemente« der Choroidea und Retina, während von Glaskörper, Iris und Cornea kein sicherer morphologischer Nachweis gegeben werden konnte. War so in diesem Falle der Bulbus in der cystenartigen Auftreibung seiner unteren Wand, wie es scheint, fast ganz untergegangen, so geben einige von Wallmann (16) an derselben Stelle beschriebene ein Bild von der gleichen, aber weniger excessiven Desorganisation, in welcher der nicht ectatische, sondern sehr verkleinerte Bulbus denn doch noch von der staphylomatösen Partie als ein besonderes, gut erkennbares Gebilde sich abhob, ja in einem Falle sogar nur durch einen soliden Strang mit der abgeschnürten unter ihm liegenden Blase in Verbindung stand. Der Bulbus selbst, einem vierjährigen Knaben angehörig, war dabei nur halb so gross, als die Norm für dieses Alter fordert, und zeigte in der Iris ein Colobom nach unten; es soll hier gleich beigefügt werden, dass auch die Nebenblase mit Netz- und Aderhaut ausgekleidet gewesen sei, ohne dass übrigens darüber nähere Angaben gemacht werden.

In einem analogen von Wallmann (l. c.) besprochenen Falle war das Verhältniss des Bulbus, der hier einen Längsdurchmesser von 11 Mm., einen senkrechten von 7,5 Mm. hatte, zur Blase ein ähnliches; im Inneren desselben fanden sich jedoch noch manche sehr abweichende Structurverhältnisse, welche wohl

durch die abnorme Lage der Krystalllinse bedingt waren. Diese lag nämlich im untern Glaskörperraum, 4,5 Mm. hinter der Iris; von ihrem unteren Rand zog sich eine fibröse weisse Platte oder ein 2 Mm. breiter Streifen — »wie ein Kamm im Vogelauge« — gegen die Insertion des Sehnerven, von welchem einige Faserzüge auch in den Hals der erwähnten Blase übergingen. Die Bedeutung dieses Streifens werden wir unten noch kennen lernen. Auch in diesem Falle traten Choroidea und Retina durch eine vor dem *Nervus opticus* liegende Spalte in das Divertikel, letztere kleidete ausserdem noch die hintere Augenkammer aus.

In wiefern nun eine noch weitergehende cystoide Umwandlung des Bulbus, wie sie Wallmann an den beiden Augen eines andern vierjährigen Kindes fand, bei welchem einer grossen Blase, an der von den normalen Augenhüllen nichts mehr nachzuweisen war, noch mehrere kleinere Divertikel aufsassen, mit einer Colobombildung in genetischen Zusammenhang zu setzen ist, lässt sich bei den vielen andern fundamentalen Structuranomalien dieser Augen nur schwer verstehen. Es entsteht hier nämlich die Frage, ob nicht etwa in der Bildung oder wenigstens weiteren Entwicklung der secundären Augenblase andere Momente liegen, welche diese weitgehenden Anomalien veranlasst haben.

Wenden wir uns von diesen in ihrer Genese noch schwer verständlichen Formen wieder den Fällen zu, in denen das Verhältniss von Mikrophthalmus zum Skleralstaphylom durch eine im Uebrigen normale Ausbildung des Bulbus ein klares ist, so finden wir hier die verschiedensten Grössenverhältnisse desselben, von einem »auffallend« kleinen bis zu einem nur das halbe Maass des normalen erreichenden Augapfel vertreten. Im Allgemeinen kann man sagen, dass dessen Grösse zu der des Skleralstaphyloms im umgekehrten Verhältniss steht; doch wurde das nicht ohne Ausnahme so gefunden. Ausser dieser Verkleinerung fand sich aber fast immer eine mehr oder weniger grosse Abweichung von der sphärischen Gestalt des Bulbus, und zwar zeigte sich dieser von oben nach unten oder auch von den Seiten her abgeplattet, insbesondere aber trat eine Verlängerung oder vielmehr ein Ueberwiegen der sagittalen Axe über die anderen Durchmesser meistens sehr deutlich hervor. Diese Verlängerung war jedoch häufig für die unteren Meridiane des Bulbus eigentlich nur eine scheinbare, indem gerade hier, wenn man die Ectasie abrechnet, eine Verkürzung vorlag, so dass der Opticusansatz, wofern er nicht selbst in jene hereinfiel, von der Iris weniger weit entfernt war, als dies in der Norm der Fall ist: die untere Bulbuswandung ist somit meistens in der Sehne verkürzt, wofür schon die oben erwähnte schräge Stellung des *Corp. cil.*, sowie noch andere gleich zu besprechende innere Formabweichungen geltend gemacht werden können. Diese inneren Structurverhältnisse sollen nun etwas genauer erörtert werden.

§ 8. Innere Verhältnisse des Coloboms. Es betreffen dieselben insbesondere den Bau, die innere Auskleidung des Staphyloms, wo ein solches mit dem Colobom verbunden ist, in jedem Falle aber die Begrenzung dieses von Seite der inneren Augenhäute. So verschieden auch die uns hierüber vorliegenden Angaben lauten, und so abweichend auch manche Verhältnisse bei dem verschiedenen Grade des Defects sich gestalten mögen, so findet sich doch in den wesentlichen Puncten manches Uebereinstimmende, wodurch wir einen festen Halt für das genetische Verständniss gewinnen.

Dass die Bulbuswandung an der Stelle des Coloboms verdünnt ist, wurde schon oben bemerkt, und zwar ist sie das auch, wenn sie nicht zugleich ectatisch ist: im letzteren Falle allerdings vielmehr. Wie STELLWAG in einem Auge fand, betraf die Ausbuchtung fast ausschliesslich die inneren Schichten der Sklera, die äusseren setzten in normaler Dicke am Rande des Staphyloms ziemlich schroff ab; die äussere Verbindung dieses mit der Tenon'schen Kapsel war die gewöhnliche. Die Ränder des Coloboms sind immer scharf markirt gefunden worden, und zwar nicht nur durch ein einfaches Aufhören der Choroidea, sondern meistens noch mehr durch eine stärkere Pigmentansammlung daselbst, welche, wie es scheint, sowohl in der eigentlichen Aderhaut, als auch im sogenannten Pigmentepithel ihren Sitz hatte, worauf besonders Gewicht zu legen ist. Dieser scharfen Begrenzung ohngeachtet, handelt es sich doch, wie übereinstimmend aus allen Beschreibungen hervorgeht, nicht um ein vollständiges Aufhören der Choroidea, sondern es setzt sich dieselbe in ein meistens zartes Häutchen fort, welches das Colobom über der Sclerotica auskleidet, und auch im Falle einer Ectasie an deren innerer Fläche gefunden wird. Dieses Häutchen ist sogenanntes formloses Bindegewebe, enthält gewöhnlich hellbraunes Pigment in kleinen unregelmässig zerstreuten Häufchen und Gefässe. Von manchen Autoren wird diese zarte Ausfüllungsmembran direct als eine Fortsetzung der Choroidea sowohl als auch der Retina angesprochen; eine völlige Unterbrechung besteht für jene nur in Bezug auf die Choriocapillaris und das Pigmentepithel. Ob überhaupt Capillargefässe im Colobom vorkommen, mag sich verschieden verhalten, doch wird von mehreren Beobachtern eine Anordnung derselben, wie sie in jener Schicht normal sich findet, sowie auch die elastische Lamelle mit Bestimmtheit als fehlend bezeichnet. Das Verhalten der Retina am Colobom scheint dagegen ein wechselndes zu sein, und doch ist auch hier mit Bestimmtheit anzunehmen, dass dieselbe, in ihrer normalen Structur wenigstens, im Colobom nicht existirt. Es gibt eigentlich nur eine bestimmte positive Angabe über die Existenz von Netzhaut in einem colobomatösen Skleralstaphylom: es bezieht sich dieselbe auf ein Auge, welches ARLT (13) anatomisch untersuchte, und in welchem sich die sonst normale Netzhaut in die am Boden des Auges gelegene divertikelartige Ectasie der Sclerotica einsenkte, so dass nur durch die scharfen Ränder der Ausbuchtung eine scheinbare Netzhautspalte vorgetäuscht wurde. »Im Grunde des Recessus, heisst es, liessen sich alle Formbestandtheile der Netzhaut mikroscopisch nachweisen, aber wie auseinandergezogen und schütter, so dass die Netzhaut daselbst sehr verdünnt erschien.« Darunter lag eine gefässarme und pigmentlose Choroidea.

Eine nicht geringe Zahl der anderen zur anatomischen Untersuchung gekommenen Bulbi mit Colobom war allerdings in einem für eine genaue mikroscopische Durchforschung wenig geeigneten Zustande, so dass unter den in Bezug auf das Vorhandensein der Retina im Colobom negativ lautenden Befunden vielleicht im einen oder anderen deren Elemente übersehen worden sind, besonders wenn dieselben etwa, wie in dem Arlt'schen Falle, nur »zerstreut« vorhanden waren. Doch sind das gewiss nicht häufige Uebersehen, da schon das makroscopische Aussehen der Netzhaut in einem nur einigermaassen conservirten Auge characteristisch genug ist, und so gilt denn als ziemlich allgemeines Resultat der seitherigen anatomischen Erfahrungen, dass eine normale Retina im Colobom,

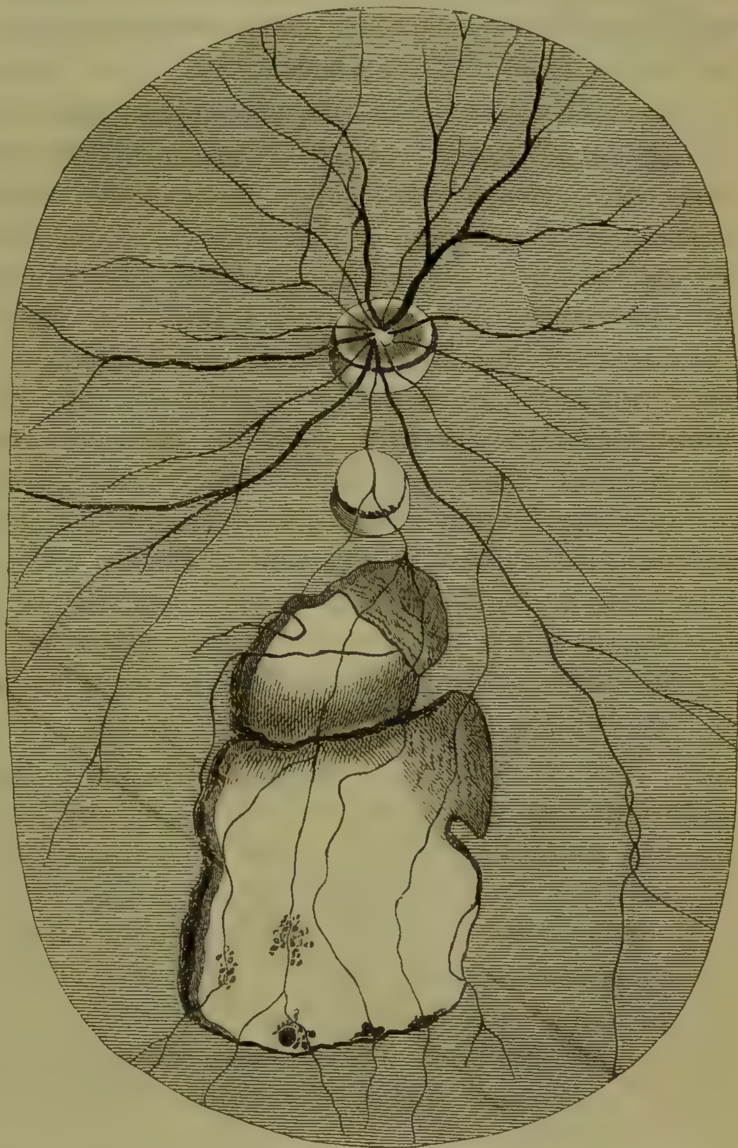
sei es mit einer Ectasie verbunden oder nicht, nicht vorkommt, dass die Retina somit an dieser Stelle eine mehr weniger breite Spalte besitzt. Weniger übereinstimmend lauten allerdings die Beschreibungen, welche die Autoren von der Structur und histologischen Bedeutung der gewöhnlich mit den Spalträndern zusammenhängenden Membran geben, welche über die Choroidealspalte hin sich erstreckt, und welche von den Einen als eine mit der diese letztere ausfüllenden Haut identische, von Andern aber als eine von der letzteren trennbare, der Retina allein angehörige beschrieben wird. Die histologischen Eigenschaften allein können hier nicht wohl entscheiden, da eine Netzhautpartie, der alle characteristischen Elemente fehlen, eben nicht mehr als solche angesprochen werden kann, auch wenn sie mit der übrigen normalen Netzhaut in Zusammenhang steht. Für die Choroidea verhält sich das insofern anders, als uns hier das Pigment einen Anhaltspunct gibt. Von einigen Beobachtern, wie z. B. Arlt, wird bestimmt angegeben, dass der halbdurchsichtige Ueberzug der choroidealen Intercalarplatte zwar mit der Netzhaut ein Continuum bildete, jedoch ohne die Eigenschaften derselben zu besitzen. Gerade für diesen Fall bestätigte übrigens der Verfasser die Verschmelzung des choroidealen und retinalen Deckhäutchens über die ganze Ausdehnung des Coloboms in dessen ectatischer und nicht ectatischer Partie.

Wenn seither von dem Fehlen der Netzhautelemente an der Stelle des Aderhautdefects die Rede war, so gilt dies nicht für die Blutgefässe, wenigstens nicht allgemein. Hervorzuheben ist zwar auch hier der namentlich durch den Augenspiegel so oft hergestellte Befund, wonach theils der Verlauf der Aeste der Centralgefässe schon von der Austrittsstelle an ein ungewöhnlicher ist, theils aber einzelne Gefässzweige aus der Centralarterie stammend in der Nähe, ja oft ganz nahe der Colobomränder hinstreichen, ohne in dasselbe einzutreten. Dabei kommt es freilich auch vor, dass von ihnen entspringende feinere Zweige um den scharfen Spaltrand umbiegen, und gerade dadurch die Anwesenheit einer Ectasie recht auffallend machen. Seltener wurden Gefässe beobachtet, welche direct von der Papille in gerader Richtung in das Colobom eintreten und in dessen Axe nach vorne verlaufen, wie bei Hoffmann u. A. (vgl. Fig. 2). Die grössere Zahl von Blutgefässen in demselben kommt aus einer anderen Quelle: es sind nämlich je nach seiner Lage und Ausbreitung die die Sclerotica durchbohrenden hintern Ciliararterien selbst, oder deren choroideale Verzweigungen, oder es treten Gefässe auf, deren unregelmässiger Verlauf sie eher als der Sclerotica selbst angehörig ansehen lässt. Schlingenbildungen sind an diesen Gefässen nicht selten, auch Verbindungen zwischen den verschiednen Gefässsystemen scheinen mehrfach vorzukommen; doch erhält sich in der Regel das der Netzhaut in einer gewissen Selbstständigkeit. Den Verlauf der ersten Verzweigungen der Centralgefässe betreffend ist bemerkt worden, dass dieselben meistens die sonst ganz ungewöhnliche Richtung nach oben einschlagen, wie dies auf mehreren der gelungensten Abbildungen von Liebreich (14), Baeumler (15), Hoffmann (16) zu sehen ist: es macht den Eindruck, wie wenn die *Fovea centralis* nach oben von der Papille läge, welche so von den grösseren Aesten der Arterie und Vene umgangen wird.

Die Papille selbst zeigt, je nachdem sie noch in das Bereich des Coloboms fällt oder in einiger Entfernung davon liegt, entweder die normale oder eine stark querovale Gestalt: letzteres auch dann, wenn sie, wie das öfters der Fall war,

das Colobom nach oben begrenzt. Diese Verkürzung des senkrechten Durchmessers ist besonders stark und dann eben auch zum Theil eine scheinbare, wenn die Ectasie schon in ihrer Nähe beginnt, wodurch natürlich eine schräge Stellung derselben bedingt wird. Umgreift das Colobom den Opticuseintritt weiter nach oben, so gehen die gewöhnlichen Contouren der Papille ganz verloren und sie ist nur durch eine etwas andere Färbung und das Verhalten der Centralgefässe zu erkennen.

Fig. 2.



Coloboma choroideae nach Hoffmann.

Die Existenz der *Macula lutea* resp. der *Fovea centralis* ist bei den anatomischen Untersuchungen nicht immer so genau berücksichtigt worden, wie es die Wichtigkeit derselben wünschen lässt, doch besitzen wir darüber wenigstens einige bestimmte Angaben, theils in positivem, theils in negativem Sinne. So fehlte der gelbe Fleck in einem von Stellwag (11) beschriebenen Falle in beiden Augen, war dagegen ophthalmoscopisch nachweisbar in den beiden von Saemisch (17 und 18) beschriebenen Fällen; in anderen blieb ihr Vorkommen mindestens zweifelhaft, und gehört dazu jedenfalls auch der von Hannover publicirte, in welchem die *Fovea centralis* sich vor dem Staphylom, an dessen vorderem resp. unterem Ende befunden haben soll (?).

In einigen colobomatösen Augen war die über dem Opticuseintritt liegende ectatische Zone so breit, dass die Macula resp. Fovea noch darin einbegriffen sein musste. Viel merkwürdiger sind aber die Fälle, in welchen das Colobom sich auf jene Stelle beschränkte und die Spalte sich somit zwischen ihr und der Papille geschlossen hatte. Ein solches Colobom an Stelle des gelben Flecks wurde zuerst durch v. Ammon (19) anatomisch beschrieben. In einem mit einem breiten Iriscolobom versehenen Auge von normaler Grösse, aber »fötaler Gestalt«, fand sich die Sklera am hinteren Pol faltig eingesunken —

im Leben jedenfalls ausgedehnt — und verdünnt, und an derselben Stelle ein umschriebener Defect in der Choroidea von etwa 3 Mm. Länge, oben und unten spitz zulaufend, also wohl vertical gestellt. Eine genauere Untersuchung zeigte, dass es sich nicht um eine wahre Spalte handelte, sondern »um eine weisse dünne gefässarme Hautstelle, umgeben von den Rändern der dort aufhörenden Pigmentlage«. Die über dem Defect liegende Retina zeigte auch eine Art Spalte, doch war ihr Conservationszustand nicht geeignet, einen genauen Aufschluss darüber zuzulassen.

In neuester Zeit ist das Vorkommen eines isolirten Coloboms an Stelle der *Macula lutea* durch das Ophthalmoscop mehrfach sicher gestellt. Von Talko (20), Reich (21), Streatfield (22), Wecker (23) liegen Augenspiegelbefunde vor, in welchen am hinteren Pol des Auges, in der normalen Lage des gelben Flecks, ein pigmentloser oder wenigstens pigmentarmer Fleck mit starkem Skleralreflex zu sehen war. Die Form desselben war rundlich (Streatfield), birnförmig (Talko) oder rhombisch (Reich), seine Grösse übertraf die der Papille um ein beträchtliches; an Gefässen wurden in ihm wenige etwa der Choroidea entstammende oder durchtretende Ciliararterien sichtbar, oder es fehlten alle Gefässe (Reich); die Aeste der Centralarterie und Centralvene umkreisten die weisse, von dunkelm Pigment eingesäumte Stelle in weitabstehenden Bogen. In Reich's Fall konnte die Grenze des gelben Flecks um die des Defects durch eine merkliche Farbennüance erkannt werden. Ausser den erwähnten Eigenschaften zeigte der Augenspiegel eine leichte Vertiefung der betreffenden Stelle, welche auch bei der Functionsprüfung sich geltend zu machen schien.

Wir haben also an der Stelle des gelben Flecks eine Spaltbildung der Choroidea mit all den Eigenthümlichkeiten, wie sie das Colobom an gewöhnlicher Stelle aufweist, nur über die Theilnahme der Retina daran haben wir noch keine sicheren Kenntnisse. Eine genaue histologische Untersuchung liegt bis jetzt nicht vor, da die v. Ammon'sche nicht genügen kann, und die Functionsprüfung hat noch keine ganz sicheren übereinstimmenden Resultate ergeben, wobei ja auch von vornherein gewisse Differenzen jenes Verhaltens als möglich zugegeben werden müssen. Reich konnte keine Störung des centralen Sehens eruiren (S. c. war beinahe 20/XX), wenn schon einige Angaben des Patienten darauf hinwiesen, höchstens müsste der centrale Defect des Gesichtsfeldes ein sehr kleiner gewesen sein.

In Streatfield's Fall war das betreffende Auge so hochgradig amblyopisch und zugleich strabotisch, dass eine Ausbildung des *Strabismus diverg.* auf Grund obiger supponirter Bildungsanomalie in der Retina sehr wohl erklärlich wurde, aber eben doch die genaue Gesichtsfelddurchmusterung unmöglich machte, oder es wurde eine solche, wie es scheint, nicht angestellt. Bei dem von Talko beschriebenen Individuum bestand ebenfalls Amblyopie, dabei hochgradige Myopie (letztere, übrigens nur $\frac{1}{50}$, war auch bei dem Reich'schen Patienten vorhanden) und eine bedeutende concentrische Verengerung des Gesichtsfeldes; das andere Auge war ebenfalls, aber viel weniger myopisch, und hatte ein gewöhnliches sichelförmiges *Staphyloma posticum*.

Nach den uns zur Zeit vorliegenden Beobachtungen muss also noch dahingestellt bleiben, ob, wie das für das Colobom im Boden des Bulbus als Regel,

vielleicht ohne Ausnahme, gilt, auch am hinteren Pol des Auges mit der isolirten Choroidealspalte eine Spalte in der Netzhaut vorkommt.

Wir haben nun noch das Verhalten des Coloboms in der vorderen Abtheilung des Bulbus etwas genauer anzusehen. Wie erwähnt, schliesst auch das grösste Choroidealcolobom in der Gegend der *Ora serrata* mit einem schmalen oder breiten pigmentirten Rand ab. Schon die an diesem öfters bemerkte Spitze zeigt übrigens eine Fortsetzung in den Ciliarkörper hinein an, und in der That haben eine Reihe von anatomischen Untersuchungen solche Fortsetzungen durch die ganze Länge jenes Organs in verschiedener Breite aufgedeckt. Man fand zunächst eine veränderte Stellung, auch Grösse einiger im Meridian des Coloboms liegender Ciliarfortsätze, sowie eine Diastase zwischen zwei benachbarten. Dieselben oder auch noch mehrere angrenzende erschienen mehr oder weniger stark nach hinten gerückt, so dass manchmal zwei beinahe in einer Linie hintereinander lagen, wodurch die schon oben erwähnte schräge Stellung des ganzen Ciliarrings noch mehr ausgeprägt wurde. Der Zwischenraum zwischen diesen Ciliarfortsätzen war ausgefüllt von einem mehr weniger breiten, meist dunkel gefärbten, manchmal aber auch weisslichen Streifen, der nach rückwärts in das vordere Ende des Choroidealcoloboms überging oder einfach als Fortsetzung der dasselbe ausfüllenden »Intercalarplatte« sich von hier nach vorne erstreckte.

Diese Raphe, von welcher sich verschiedene Formen beschrieben finden, war nun entweder auf die innere Fläche des *Corpus ciliare* beschränkt, oder sie liess sich auch im *Tensor choroideae* an dessen äusserer Fläche, ja selbst bis in die Sklera verfolgen, welche jener entsprechend, in Arlt's Fall einen linearen, nur wenig erhabenen Streifen zeigte. In mehreren Fällen fehlte jedoch im *Corpus ciliare* jede solche Raphe, und nur die Einknickung des Kranzes der *Processus* an einer Stelle verrieth die zu Grunde liegende Anomalie.

§ 9. Coloboma lentis et corporis vitrei. Auch am Inhalt des Augapfels sind Spuren der Spaltbildung in seiner Wandung gefunden worden. Die Krystalllinse insbesondere zeigte sich an ihrem unteren Rand, der »Raphe« gegenüber bald abgeplattet, bald leicht eingekerbt, oder es war, wie wir das in den frühesten Entwicklungsstadien finden, der Rand ein wenig nach dieser Stelle hin ausgezogen. Auf den entsprechenden Defect in der *Zonula Zinnii* hat besonders Stellwag aufmerksam gemacht; er fand eine wirkliche Spalte im Aufhängeband der Linse an deren unterem Rande.

Für den Glaskörper, der in der Mehrzahl der Fälle keine Anomalie an sich trug, bedingt die Persistenz eines embryonalen Gebildes, der *Arteria hyaloidea*, eine sehr bedeutende und besonders interessante Formabweichung. Die erste derartige Beobachtung rührt von Hannover (8) her: die mit einem bedeutenden staphylomatösen Colobom behafteten Augen zeigten eine sehr deutliche Sectorenbildung des Glaskörpers im Sinne jenes Autors. Die einzelnen Sectoren, auf dem Frontalschnitt von Hufeisenform, gruppirten sich um eine etwas unter der Mitte des Organs gelegene rundliche Oeffnung, durch welche die *Art. hyaloidea* zur hintern Linsenkapsel gelangte. Wir haben also hier bei einem Erwachsenen ein früheres Entwicklungsstadium vor uns, bei welchem die durch die fötale Augenspalte eindringenden Gefässe im Glaskörper zwar eingebettet liegen, aber nicht verödet sind.

Einen analogen Befund verdanken wir Stellwag, nur war hier ausser den in den Glaskörper von unten eindringenden Resten obiger Gefässlager dieser selbst noch in der inneren Entwicklung zurückgeblieben. Ein sehr fester sehnig glänzender Strang entsprang in einiger Entfernung vom inneren Umfang des *Foramen sclerae*, verlief in gerader Richtung durch das Staphylom bis zu dessen vorderem Ende, wo er sich in zwei Arme theilte, welche hier mit einer die Ectasie in zwei seitliche Gruben theilenden Leiste verschmolzen. Jener Strang war in eine tiefe Rinne des Glaskörpers eingelagert, welche vorne fast die ganze *Fossa patellaris* bis zum oberen Linsenrand durchsetzte. In dem linken Auge, eben wo letzteres der Fall war, enthielt jener im andern feste Strang eine sulzige Masse, welche mit dem umgebenden Glaskörper innig zusammenhing. In diesem fanden sich eigenthümliche, ganz isolirte Gefässinseln, denen aber doch die Gefässwandungen fehlten (?). Die Hyaloidea war durch den Strang unterbrochen.

Fig. 3.

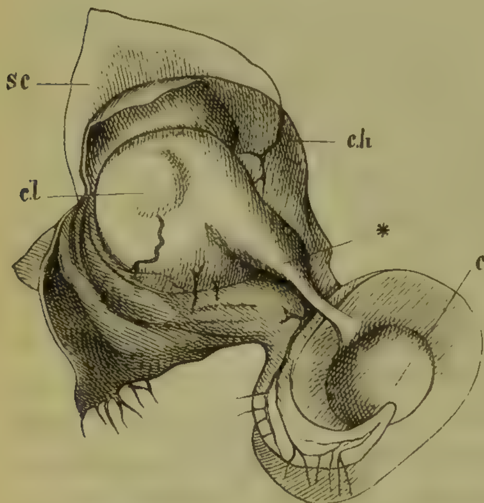


Coloboma corp. vitr. von dem von Ecker beobachteten Fall. (Vgl. Fig. 4.)

Von Arnold wird ein analoger Fall berichtet, bei welchem, wie die Spalte, so auch der durch dieselbe eindringende gefässführende Strang auf die Ciliargegend beschränkt war: es trat nämlich aus der Sclerotica ein Fortsatz derselben durch den äusseren Rand der Iris ins Innere des Auges und setzte sich hier an die Linse an; die am untern innern Theil des Glaskörpers verlaufende Rinne reichte jedoch bis zum Eintritt des Sehnerven. Wir haben hier eine Missbildung, welche auf eine sehr frühe Entwicklungsstufe zurückführt, auf die Periode nämlich, wo durch den noch sehr kurzen fötalen Augenspalt die Kopfplatten einen kolbenförmigen Fortsatz zum untern Rand der kurz zuvor eingestülpten Linse hinsenden. Die sonstigen Augenhüllen waren übrigens, wie Arnold angibt, normal, hier hatte also die völlige Schliessung der Spalte stattgefunden.

Eines vierten Falles (von Wallmann) wurde schon oben gedacht; auch die beistehende Abbildung stellt einen ähnlichen dar, der von Ecker beobachtet wurde: der vom Colobom sich erhebende Strang (*) setzt sich jedoch an die Basis der Hornhaut an.

Fig. 4.



Bulbus im Aequator geöffnet: *c* Cornea, *ch* Choroidea, *sc* Sclerotica, *cl* Colobom, * von ihm ausgehender Bindegewebsstrang. (Corp. vitr. siehe Fig. 3.)

§ 10. **Functionsstörungen bei Coloboma oculi.** Da bei der Missbildung des *Coloboma bulbi* so verschiedene Theile des Auges interessirt sind, und bei den vielen Varietäten in Bezug auf Ausdehnung und Lage, welche dabei beobachtet werden, ist es selbstverständlich, dass auch die dadurch bedingten Sehstörungen sehr verschieden ausfallen mussten. Es fehlte freilich in vielen der erzählten Fälle eine genaue Functions-, namentlich Gesichtsfeldprüfung, doch entsprechen die be-

treffenden Beobachtungen ziemlich gut den Erwartungen, welche die Anatomie der Anomalie hervorrufen musste. Zunächst ist zu bemerken, dass ein isolirtes *Coloboma iridis* an sich niemals von irgend beträchtlichen, darauf bezüglichen Sehstörungen begleitet ist, obschon der Defect im Diaphragma einestheils durch Blendung, anderntheils durch Aufdeckung eines Theiles des Linsenrandes einen Astigmatismus eigentlich hervorbringen muss. Wir wissen aber auch vom künstlich erzeugten Colobom, dass eine dadurch bedingte Sehstörung, wenn anders dasselbe eine gewisse Breite nicht überschreitet, und die darüberliegende Hornhaut eine normale Krümmung besitzt, dem betreffenden Individuum kaum je bemerkbar wird. Dabei kommt in Betracht, dass beim Blick nach abwärts, also bei Beschäftigungen wie Lesen und Schreiben, die ein schärferes Sehen verlangen, der untere Hornhautrand doch bei den meisten Augen hinter dem unteren Lid verschwindet. Nun gehören die angeborenen Irisspalten doch durchschnittlich zu den schmäleren und nimmt ihre Breite bei der häufigeren (Ei-)Form derselben meistens gegen die Peripherie hin noch bedeutend ab. So finden wir denn auch bei dem einfachen Iriscolobom sehr häufig normale Sehschärfe verzeichnet, und auch da, wo sie nicht so gefunden wurde, mögen andere Gründe der Schwachsichtigkeit vorhanden gewesen sein. Anders verhält es sich bei dem Colobom der hinteren oder mittleren Theile des Bulbus; hiebei zeigen sich Sehstörungen dreierlei Art: Amblyopie, Myopie und Gesichtsfeldbeschränkungen.

Halten wir die letzteren einstweilen bei Seite, so finden wir von den Autoren, welche am Lebenden ihre Untersuchungen angestellt oder aus der Anamnese geschöpft haben, ein sehr verschiedenes Maass der Sehschärfe angemerkt: neben vollkommener Blindheit mittelmässige und selbst ziemlich gute Sehkraft. Nicht alle vorhandenen Befunde sind übrigens direct auf die in Rede stehende Missbildung zurückzuführen, die Amblyopie ist gewiss nicht immer eine angeborene, sondern gewiss manchmal auch, wenigstens zum Theil, eine erworbene, herbeigeführt durch analoge Verhältnisse, wie wir sie z. B. im Strabismus finden: ein von Geburt an etwas sehschwaches Auge ist »durch Nichtgebrauch« allmählich noch schwächer geworden. Vor Allem maassgebend scheint aber die Ausdehnung zu sein, in welcher der Sehnerv selbst in die Missbildung hereingezogen ist. In Fällen, wo das Colobom die Papille in sich fasste, war auch meist das Sehvermögen ein sehr niedriges, während, wie aus den wenigen bis jetzt bekannten Beobachtungen hervorzugehen scheint, die Continuitätsunterbrechung an Stelle der *Macula lutea* wohl das centrale Sehen, nicht aber das excentrische in höherem Grade stört. In den höheren Graden, wo die mit dem Colobom verbundene Ectasie der Bulbuswandung zu einer Verkümmerung seiner Form und Grösse geführt hatte, bestand entweder hochgradige Sehschwäche oder absolute Blindheit.

Dass übrigens nicht die Kleinheit des Bulbus allein diese Amblyopie bedingt, lehren mehrfache Angaben über Fälle von einfachem (?) Mikrophthalmus, bei welchen ein sehr gutes Sehvermögen bestand. Wir müssen also für jene colobomatösen Mikrophthalmi eine mangelhafte Ausbildung der Netzhaut oder des Sehnerven, wie sie ja auch öfters anatomisch nachgewiesen wurde, annehmen. Ein geringes Volumen des Opticus, eine völlig unregelmässige Bildung desselben ist dabei mehrfach gefunden worden, wenn auch für die letztere die neueren histologischen Errungenschaften noch wenig Verwerthung finden konnten.

Viel wichtiger für das Wesen des Coloboms sind die zwei anderen Formen der Sehstörung, und zwar zunächst die Myopie. Mag es auch bei manchen Patienten nur schwer möglich gewesen sein, dieselbe gegenüber der Amblyopie schärfer zu definiren, so sind doch höhere Grade der Refractionsanomalie selbst in früheren Fällen, namentlich aber in den neueren durch den Augenspiegel unzweifelhaft nachgewiesen. Es ist wohl keinem Zweifel unterworfen, dass dieselbe vorzugsweise der Verlängerung der sagittalen Augenaxe zuzuschreiben ist, wie ja eine elliptische Gestalt des Bulbus zu den gewöhnlichen Erscheinungen beim Colobom gehört. Dabei mögen nun allerdings auch die Einflüsse einer nicht ganz normal gestalteten oder eingefügten Krystalllinse begünstigend oder corrigirend einwirken; ausserdem kann auch die Cornea hierbei in Betracht kommen, deren Krümmungsanomalien in positivem und negativem Sinne ebenfalls sehr häufig das Colobom begleiten. Uebrigens gelten hierbei natürlich dieselben Gesetze, wie sie vom sogenannten *Staphyloma sclerae posticum* längst bekannt sind.

Von Reich wird ein geringer Grad von Astigmatismus, der bei seinen Patienten vorhanden war, auf gewisse Unebenheiten der Netzhaut an der Stelle des Coloboms zurückgeführt, was aber offenbar mehr auf eine Metamorphopsie als auf jene Refractionsanomalie hinweist. Die Sehschärfe war übrigens dabei eine fast normale.

In innigster Beziehung zu der angeborenen Bulbusspalte steht aber eine bestimmte Form der Gesichtsfeldbeschränkung, welche in den in letzter Zeit bekannt gewordenen Fällen, wir dürfen wohl sagen, als ausnahmslose Regel sich wenigstens dann erwiesen hat, wenn das Sehvermögen überhaupt nicht zu gering war, um eine Durchmusterung des Gesichtsfelds zuzulassen. Aber auch von älteren Beobachtern werden für jenen Gesichtsfelddefect characteristische Zeichen angegeben. So erwähnt schon v. Ammon bei seiner ersten Publication, dass die betreffende Frau, deren Augen ihm zur Section kamen, unter allen Verhältnissen und Entfernungen gleich gut gesehen habe, nur wenn sie den Blick stark nach unten richtete, seien alle äusseren Gegenstände verschwunden.

Damit stimmt noch eine Beobachtung aus der vorophthalmoscopischen Zeit, welche ein französischer Arzt Gillebert an einem zweijährigen Mädchen anstellen konnte, und welche Fichte (2) mittheilt. Das Kind hielt alle Gegenstände sehr nahe an die Augen; bei Betrachtung entfernter, wendete es den Kopf nach hinten und verengte dabei die Lidspalte so, dass das Iriscolobom vom unteren Lid bedeckt wurde: ein Verhalten, welches, wenn auch nicht genauer untersucht, so characteristisch erscheint, dass dasselbe nicht einfach als Ausdruck der Lichtscheu angesprochen werden darf, sondern viel wahrscheinlicher einem Gesichtsfelddefect zugeschrieben werden muss; das starke Rückwärtsbeugen des Kopfes bedeutet wohl dasselbe, wie ein stärkeres Aufwärtswenden der Bulbi, und hat dabei vor letzterem noch den Vortheil, dass dabei das Iriscolobom verdeckt bleibt, wodurch vielleicht der Lichtscheu etwas gewehrt wurde. Ganz ähnlich lautet auch eine Angabe von Behr (24).

Die neueren Erfahrungen beim *Coloboma choroideae* haben nun alle einen diesem der Lage und Ausdehnung nach entsprechenden Defect im Sehfelde auf das Bestimmteste nachgewiesen, und zwar mit einer einzigen Ausnahme, die aber doch nicht genau genug constatirt ist, wie ihr Vertreter selbst zugibt, um

unbedingt als solche gelten zu können. NAGEL (25) hat nämlich bei einer Dame mit einem mässig grossen Choroidealcolobom, dessen oberes Ende um $1\frac{1}{2}$ Papillendurchmesser vom Sehnerveneintritt entfernt war, keine wesentliche Störung des Sehvermögens, welches »übrigens nicht so genau untersucht werden konnte, als es wünschenswerth gewesen wäre«, entdeckt; »jedenfalls war ein erheblicher Defect im Gesichtsfelde, der pathologischen Region des Augengrundes entsprechend, nicht vorhanden«. Bevor wir eine Erklärung für diese einzelne Ausnahme suchen, wird es gut sein, noch andere, genauer constatirte abzuwarten. Solche recht genaue Durchforschungen des Gesichtsfeldes, etwa mittelst des Perimeters, wären überhaupt sehr wünschenswerth und würden gewiss des Interessanten noch viel bieten; insbesondere wären die Grenzen des Defectes möglichst genau festzustellen. Die Lage desselben war in allen Fällen so ziemlich die gleiche, nämlich die nach oben, und es reichte derselbe manchmal bis zum Fixirpuncte, meistens jedoch nicht so weit nach unten; es war ausserdem gewöhnlich ohngefähr die mittlere Partie der oberen Gesichtsfeldhälfte, welche fehlte. Nach den bis jetzt vorliegenden Angaben scheint das Sehvermögen an dieser Stelle in der That völlig aufgehoben zu sein, was natürlich für vollständiges Fehlen der Netzhaut im unteren Theil des Bulbus, dem Colobom entsprechend, argumentirt, womit auch mit einziger Ausnahme des einen Arlt'schen Falles die Sectionsresultate völlig übereinstimmen. Es ist dies eine für die Erklärung des Zustandekommens jener Missbildung besonders wichtige Thatsache, wie weiter unten gezeigt werden soll.

In verschiedenen Krankengeschichten wird von Lichtscheu berichtet, welche die betreffenden Patienten gequält haben soll. Dass dieselbe nicht allein dem Iriscolobom zur Last gelegt werden darf, wurde oben schon erwähnt, aber auch das Colobom der Choroidea kann dafür nicht ohne weiteres verantwortlich gemacht werden. Setzt man den Grund der Lichtscheu nämlich in eine Ueberreizung der Opticusfasern, resp. deren Endorgane, so kann ein Pigmentmangel an der Stelle des Coloboms eine solche direct nicht veranlassen, da eben hier die Nervenfasern fehlen; dieselbe muss daher entweder in einem übrigens nicht allgemein constatirten Pigmentmangel in der übrigen Choroidea, oder was wahrscheinlicher, in der diffusen Reflexion begründet sein, welche das eindringende Licht an der pigmentlosen Stelle erleidet, und welche sich auch manchmal dem Beobachter als Augenleuchten kundgibt, wovon mehrere Beispiele (BEHR, GESCHEIDT, STELLWAG) erwähnt sind. Uebrigens ist Photophobie durchaus keine constante Begleiterin des Coloboms, wie namentlich ein von BAEUMLER beobachteter Patient beweist, welcher als Metallarbeiter davon nicht im mindesten belästigt wurde.

§ 11. Entstehung des Coloboms. Die Frage nach der Entstehung des *Coloboma oculi* ist zur Zeit gewiss im Wesentlichen gelöst, wenn uns freilich auch hier die ersten Ursachen, welche den Anstoss zu dieser Missbildung geben, noch völlig unbekannt sind; wir begegnen hier nicht mehr den unvollständigen oder irrthümlichen embryologischen Anschauungen, welche den ersten Beobachtern das Verständniss so sehr erschwerten. Selbst die sonst von den besten derselben aufgestellte Ansicht, dass man eine »Hemmungsbildung« vor sich habe, musste immer wieder auf Widerspruch stossen, so lange man nur das *Coloboma iridis*

kannte, und auch für das der Choroidea den Mangel einer Spalte in derselben im normalen Fötusauge geltend machen konnte.

Der erste, der eine genetische Erklärung seiner Beschreibung beifügte, v. Walther (26), stützte sich dabei auf das sogenannte Bildungsgesetz des zweihälftigen Aufbaues des Körpers, welches auch für die einzelnen Organe gelten sollte, und verglich deswegen das *Coloboma iridis* mit andern schon bekannten abnormen Spaltbildungen: Hasenscharte, Wolfsrachen etc.; wie hier sollte auch dort die anomale Spalte der Rest einer ursprünglichen Zweitheilung des Augapfels sein. Mit dem Nachweis der Unrichtigkeit der physiologischen Unterlage musste natürlich auch bald die Erklärung des pathologischen Phänomens fallen, gegen welche übrigens erst geraume Zeit später auf Grund einer Section eines colobomatösen Bulbus v. Ammon (8) sich erhob, obschon gerade sein Befund von mehreren Anatomen, z. B. J. Müller (27), zu Gunsten der v. Walther-schen Theorie aufgefasst wurde und auch aufgefasst werden konnte. Es wurde dafür auch eine Angabe einiger älterer Schriftsteller (Malpighi, Haller), die J. Müller neuerdings bestätigte, verwerthet, der zufolge die Iris zu einer gewissen Entwicklungszeit bei verschiedenen Thieren regelmässig eine Spalte besitze, die aber schon von Kieser[1]) als der Choroidea angehörig nachgewiesen wurde.

Etwas Aehnliches lag auch noch einer von Fichte vertretenen Anschauung zu Grunde, die sich auf Huschke's Angabe stützt, welcher bei Thieren gesehen haben wollte, dass sich die Iris nicht in der ganzen Circumferenz gleichmässig, sondern unten später oder langsamer entwickle. Diesen Ansichten gegenüber, welche mehr oder weniger auf normale embryonale Verhältnisse zurückgingen, betrachtete Arnold (28) die Irisspalte als ein durchaus abnormes Product, veranlasst durch eine ungleiche Entwicklung des Gefässsystems, welches aus der Aderhaut hervorspriessend, nach seiner Darstellung die erste Anlage der Iris bildet.

Diese Auffassung fand übrigens wenig Beifall und man neigte sich doch immer mehr der von v. Ammon ausgesprochenen zu, wonach eine normal vorhandene Choroidealspalte durch verzögerte Schliessung die unvollkommene Entwicklung der Iris bedingen sollte. Dieser, durch mehrere Sectionsbefunde gestützten, nur durch einen (Arnold) widersprochenen Hypothese mangelte aber immer die Basis, nämlich der Nachweis einer Spalte in der Aderhaut des normalen menschlichen Auges. Aber auch für das Hühnchen wurde von den bedeutensten Embryologen das Vorhandensein einer wirklichen Spalte nicht zugegeben und dieselbe auf einen pigmentlosen Streifen reducirt.

So lange man also nach einer Spalte in dieser Membran als Basis für die Erklärung des Coloboms suchte, musste diese immer eine in hohem Grade hypothetische bleiben und konnte auch durch inzwischen bekannt gemachte anatomische Untersuchungen nicht weiter gebracht werden: es blieb die Thatsache stehen: wie die Iris, so besitzt auch die Choroidea zu keiner Zeit der Entwicklung des menschlichen Auges eine Spalte.

Den wichtigsten Schritt auf sicheren Boden that, im Anschluss an die bahnbrechenden Remak'schen Arbeiten, Schöler[2]), welcher erklärte, dass die fötale

---

1) Beiträge zur Anatomie und Physiologie. H. 2.
2) Siehe das vorige Capitel.

Spalte nicht sowohl der Aderhaut als vielmehr der Netzhaut angehöre. Man hatte jetzt auch durch ihn die Bedeutung der fötalen Augenspalte kennen gelernt und es hatte sich gezeigt, dass diese zu der Zeit, da die Choroidea sich zu entwickeln beginnt, normaler Weise schon geschlossen ist, so dass höchstens ein pigmentfreier Streifen, der aber auch nicht eigentlich jener Membran, sondern der Netzhaut angehört, noch als Zeichen der früheren Spalte vorhanden ist.

Die Spalte in der eigentlichen Choroidea ist somit schon an und für sich immer etwas Pathologisches und als solches einerseits die Folge eines abnormen Verhaltens der fötalen (Netzhaut) Augenspalte, andererseits die Ursache des Iriscoloboms, wie v. Ammon vermuthet hatte.

Von ganz besonderer Bedeutung und gewissermaassen abschliessend scheint mir für die Frage nach der Bildung des Coloboms der von Kölliker gelieferte Nachweis der genetischen Zusammengehörigkeit des Pigmentepithels und der Retina (s. Entwicklungsgesch. § 13). Dadurch ist die Grundlage jener Missbildung auf die beiden Blätter der secundären Augenblase zurückgeführt, in ihrem Wesen ganz von der Choroidea emancipirt, die Theilnahme dieser an jener als ebenso secundär hingestellt, wie die Bildung der letzteren selbst.

Drei Factoren sind es, welche beim *Coloboma bulbi* zur Geltung kommen, wenn auch nicht in allen Fällen zugleich: eine Störung im Schliessungsprocess der fötalen Augenspalte, eine daran sich knüpfende der secundären, aus den das Auge umgebenden Kopfplatten entstehenden Bildungen, und eine Ektasie der endlich sich bildenden Narbe, resp. eine unter dem Einfluss eines inneren Augendrucks erfolgende Dehnung der der Lücke anliegenden Gebilde.

Fragen wir nun zunächst, wodurch die Schliessung der Fötalspalte gestört wird, so fehlt uns darauf allerdings zur Zeit noch eine allgemeingültige Antwort, und wird eine solche vielleicht auch späterhin nicht gegeben werden können, da möglicher Weise verschiedene Ursachen hier ins Spiel kommen; jedoch erlauben uns gerade einige der bekannten pathologischen Befunde die Vermuthung, dass die Einstülpung der Kopfplatten in die Höhle der secundären Augenblase zu einer solchen Störung Veranlassung geben kann. Die Schliessung der Spalte setzte ja eine Abschnürung dieser Communication zwischen Glaskörperanlage und umgebenden Kopfplatten voraus, ein Vorgang, welcher durch eine besondere Organisation, vielleicht eine zu weit vorgeschrittene, jenes Stieles wohl erschwert werden könnte. Vor Allem ist hier an die Blutgefässe zu denken, welche durch den Fötalspalt in das Innere des Auges eindringen und im embryonalen Auge so mächtig entwickelt gefunden werden. Als Stützen für die Annahme einer besonders wichtigen Rolle der Blutgefässe ist auf die wenigen bis jetzt bekannten, oben beschriebenen Fälle hinzuweisen, in welchen jenes Gefässsystem des Glaskörpers, die Verzweigungen der sogenannten *Arteria hyaloidea* enthaltend, im Zusammenhang mit der Bulbuswand und Linsenkapsel noch bestand, als ein dicker Strang, in welchem, wie im Stellwag'schen Falle, auch noch Theile des embryonalen Glaskörpergewebes enthalten gewesen sein sollen. In anderen colobomatösen Augen ist davon nichts gefunden worden und wir müssen annehmen, dass wenn auch von den Blutgefässen der erste Anstoss zur Verzögerung des Spaltschlusses gegeben wurde, später mit der weiteren Entwicklung doch eine vollständige Abschnürung des Glaskörperstieles und eine Verödung des in ihm enthaltenen Gefässlagers sich vollzogen hat. Dass aber auch bei voll-

kommenem Schluss des Bulbus doch noch einzelne durch die Fötalspalte in den Glaskörperraum eingedrungene Gefässe erhalten bleiben können, zeigte mir ein Auge eines Anencephalus, in welchem vom Boden des Bulbus her einige verästelte Gefässe, die Sklera, Choroidea und Retina durchbohrend, als directe Fortsetzungen einer hintern Ciliararterie in den inneren Augenraum gelangten. Es zeigte sich dabei auch, dass die spätere *Arteria hyaloidea* aus einem andern Theil des Augengefässes herstammt, als jene Gefässe der primären Glaskörperanlage, indem sie vielmehr als ein Zweig der *Arteria centr. retinae* angesehen werden muss.

Die Schliessung der fötalen Augenspalte geschieht in der Richtung von hinten nach vorne und scheinen die Folgen für die Ausbildung des Bulbus um so schlimmer zu sein, je weiter gegen das obere Ende der Spalte das Hinderniss des Schlusses zur Wirkung kommt. Doch kann auch, wenn das gerade dort geschieht, ausnahmsweise die übrige Spalte sich schliessen, wie uns die interessanten Beispiele des isolirten Coloboms an Stelle der *Macula lutea* beweisen. In der Regel aber werden die Colobome häufiger und breiter in der Richtung nach vorne, d. h. gegen die Iris hin: nur in letzterer Eigenschaft macht das *Corpus ciliare* wieder eine Ausnahme, was wohl der besonderen Stärke, in der hier die Kopfplatten auf den vorderen Rand der Augenblase sich auflagern, zuzuschreiben ist, wodurch dem innern Augendruck ein grösserer Widerstand geleistet werden kann.

Da, wie embryologische Beobachtungen lehren, die Schliessung der Augenspalte beim Menschen in den zweiten Monat fällt und ohngefähr in der siebenten Woche vollendet ist, d. i. in einer Zeit, in welcher sowohl Choroidea als Sklera noch nicht als feste Membranen ausgebildet sind, sondern als weiche, noch wenig differente Hüllen die Augenblase umgeben, so ist wohl verständlich, wie die Schliessung an einigen Puncten zu Stande kommen kann, an andern nicht, wie vollständige oder unvollständige Brücken sich bilden können, wodurch das Colobom in mehrere hintereinanderliegende Abtheilungen getheilt wird, was nicht wohl der Fall sein könnte, wenn der intraoculare Druck einer vollständig geschlossenen Membran gegenüber wirkte. Ein solcher Druck setzt übrigens doch auch eine gewisse Entwicklung des Glaskörpers voraus, und es sind schon deshalb die grösseren Ektasien im Gebiet des Coloboms als spätere Resultate anzusehen.

Bleibt die Augenspalte in ihrer ganzen Länge oder zum grössten Theil offen, so wird die Ausbildung des ganzen Bulbus in so hohem Grade gestört, dass derselbe auf ein sehr geringes Volumen reducirt bleibt oder in seiner Form völlig verändert erscheint, wie das namentlich einige Fälle von Wallmann darthun.[1] Es steht so der Mikrophthalmus für viele Fälle wenigstens im innigsten Causalverhältniss zum Colobom, wenn das auch nicht allgemein gelten kann, da offenbar noch andere Gründe das Wachsthum des Auges beeinträchtigen können.

Aber auch mit einer andern Deformität des Bulbus tritt das Colobom in nahe Beziehung, mit dem sogenannten *Staphyloma posticum Scarpae*. Mehrere Augenspiegelbefunde ergeben eine von einem davor gelegenen grösseren Colobom getrennte circumscripte Ektasie der Bulbuswandung, welche der Form nach völlig einem sogenannten hintern Staphylom entspricht[2], ebenso wie in seiner Be-

1) Einen solchen Fall mit Abbildung s. auch bei Wilde (150 p. 98).
2) Siehe ausser einigen schon obenerwähnten Fällen einen von Hoffmann (16) beschriebenen in Fig. 9.

ziehung zum Sehnerven, nur ist die Lage insofern eine andere, als jenes sich gewöhnlich dem äussern Rand der Sehnervenpapille anschliesst, während in obigen Fällen dasselbe, der Lage des übrigen Coloboms entsprechend, an den untern Sehnervenrand angrenzte. Es führt auch dieser Umstand, wie noch andere, zu der Vermuthung, dass der fötale Bulbus eine Drehung um seine Längsaxe ausführe, eine Vermuthung, welche schon von mehreren Seiten (Huschke, Reich) geäussert worden ist.

Die Anatomie des *Staphyloma post.* genauer zu erörtern, ist hier nicht unsere Aufgabe, es genügt, darauf hinzuweisen, dass dasselbe nur ausnahmsweise eine auf die durch den Augenspiegel erkennbare atrophische Stelle der Choroidea beschränkte Ektasie bedeutet, dass letztere vielmehr in viel grösserer Ausdehnung die ganze hintere Polgegend des Bulbus umfasst. Doch hat auch E. Jaeger (29 p. 69), dem wir den Nachweis des angeborenen *Staphyloma post.* verdanken, schon die Vermuthung ausgesprochen, dass »in dem Conus nicht nur der Ausdruck einer in späteren Lebensperioden hervortretenden Gewebsveränderung, sondern auch mitunter das Zeichen einer bei der Schliessung des Fötalspaltes gegebenen Anomalie zu erkennen sein dürfte«.

Wir haben oben den Satz ausgesprochen, dass, wie die Fötalspalte nur eine Netzhautspalte, so auch das Colobom eigentlich nur ein Defect der Retina sei. Diese Thatsache wird durch alle anatomischen sowie ophthalmoscopischen Befunde, andererseits auch durch die Functionsprüfung bestätigt: ihr stehen nur ganz vereinzelte Ausnahmen gegenüber, welche theils von etwas zweifelhaftem Werthe, theils vielleicht durch secundäre Veränderungen zu erklären sind. Zu letzteren wäre der eine Fall von Arlt zu rechnen, in welchem in der die Ektasie auskleidenden Membran Netzhautelemente in sparsamer Vertheilung vorhanden waren. Hier könnte ja wohl, nachdem die ursprüngliche Spalte geschlossen war, eine nachträgliche Dehnung dieser Stelle stattgefunden haben. An einen ähnlichen Vorgang muss für die Fälle gedacht werden, in welchen ein Theil der Ektasie von der Retina überbrückt war. Die Regel aber ist, dass innerhalb des Coloboms die Netzhaut vollständig fehlt. Ebenso fehlt darin nach fast übereinstimmenden Angaben regelmässig das Pigmentepithel, wie das ja auch nicht anders erwartet werden kann, da dasselbe ebenfalls der secundären Augenblase entstammt und der fötale Spalt nothwendig beide Blätter derselben trifft, weshalb es am wahrscheinlichsten ist, dass auch dessen Offenbleiben an beiden zugleich wahrgenommen werden muss. Man könnte zwar annehmen, dass die Verwachsung der Spaltränder in beiden Blättern nicht gleichzeitig erfolge, womit auch die Möglichkeit eines einseitigen Schlusses der inneren oder äusseren Lamelle gegeben wäre, — eine Erklärung, welche von Lieberkühn eventuell für solche Fälle in Aussicht genommen wurde, in welchen die Functionsprüfung eine volle Continuität der Retina nachgewiesen hätte, — zu deren Annahme aber die bis jetzt bekannten Thatsachen keineswegs nöthigen.

Ausser diesen constanten Defecten wurden nun auch meistens die elastische Lamelle und die Choriocapillaris vermisst, Membranen, welche doch der eigentlichen Choroidea angehören und mit dem Fötalspalt nichts zu schaffen haben. Doch hat uns in Bezug darauf die Entwicklungsgeschichte gelehrt, dass dieselben erst zu den späteren Bildungen gehören, die sehr wohl durch die vorausgehende

der anliegenden Membranen und Gewebe beeinflusst und durch deren Störung ebenfalls in ihrer Entwicklung beeinträchtigt werden können.

Bei den anatomischen Untersuchungen wurde fast von allen Forschern ein besonderes Interesse denjenigen Geweben zugewendet, durch welche die bestehende Lücke in der Retina und Choroidea ausgefüllt war, und sind dieselben dabei zu verschiedenen Resultaten und Ansichten über die histologische Natur dieser Narben- oder Intercalarsubstanzen geführt worden. In der That zeigten sich sowohl im Bau als auch in den Verbindungen derselben mit den benachbarten normalen Geweben nicht unwichtige Verschiedenheiten. Man fand bald ein lockeres, mit Pigmentzellen mehr weniger durchsetztes Bindegewebe, bald etwas festere, stark pigmentirte Platten, welche zu beiden Seiten der Raphe, besonders an dem vorderen Abschnitt lagen; bald fand man jene zarte Membran mit den Rändern der Netzhaut, bald mit denen der Aderhaut in inniger Verwachsung, bald waren die anliegenden Ränder beider Membranen selbst »verwachsen« und die Brücke zwischen den gegenüberliegenden Rändern eine gemeinschaftliche; wie wir oben sahen, ist auch die Gefässvertheilung und Gefässverbindung sehr verschieden getroffen worden. Alle diese Verschiedenheiten sind aber nicht als wesentliche anzusehen: da, wo die Ränder der fötalen Spalte sich nicht wirklich berühren, scheinen sie auch nie mehr durch ein homogenes Gewebe zur Vereinigung zu kommen. Der histologische Character der Narbe unterliegt dem Einfluss der anstossenden Gewebe sowohl als des zurückgebildeten Glaskörperfusses, wie auch gewissen mechanischen Momenten, welche an der einen Stelle eine breitere, an anderen, wie z. B. im Bereich des *Corpus ciliare* eine schmälere Narbe zu Stande kommen lassen. In jedem Falle sind es Abkömmlinge der Kopfplatten, welche die Lücke der secundären Augenblase überdecken oder ausfüllen, sie erscheinen darum als ein mehr weniger pigment- und gefässhaltiges Bindegewebe nach Art der äusseren Choroidealschichten, oder mehr dem festeren Gefüge der unterliegenden Sclerotica verwandt. Wie wir gesehen haben, kann die Ausdehnung des Coloboms in der Richtung von hinten nach vorn eine sehr verschiedene sein, es kann sich aber, und dieser Punct ist hier noch zu erörtern, dasselbe nach vorn in die Iris erstrecken und als die am häufigsten und frühesten beobachtete Form des Iridoschisma zu Tage treten.

Da es sich als unrichtig erwiesen hatte, dass die fötale Iris normalerweise eine Spalte habe und nachdem die pathologische der Choroidea aufgefunden worden war, suchte man sich jene Missbildung dadurch zu erklären, dass man die Iris eben einfach als einen Auswuchs der Choroidea ansah, dessen Schicksal natürlich von dem des Mutterbodens abhängig sei, so dass, wo keine Aderhaut vorhanden sei, auch jene fehlen müsse. Im Wesentlichen ist diese Anschauung wohl auch richtig, nur muss man an die Stelle der Choroidea die Retina setzen, der, wie wir gesehen haben, die primäre Spalte angehört, mit deren embryonaler Grundlage die Entwicklung der Iris im innigsten Zusammenhang steht. Wie beim Colobom der Choroidea, concurriren auch bei dem der Iris zwei Störungen: der Defect in beiden Blättern der Augenblase, und, secundär, der sich auflagernden Kopfplatten, die sich zur Choroidea umwandeln. Es kann nun aber, da diese verschiedenen Entwicklungen zu verschiedenen Zeiten erfolgen, sehr wohl geschehen, dass eine zur Zeit der aussprossenden Iris noch ungeschlossene oder mangelhaft geschlossene Fötalspalte, sich später dennoch schliesst, und nur in

ihrem vordersten Abschnitt offen bleibt, wodurch dann das einfache, nicht mit anderen Spaltbildungen verbundene Iriscolobom zu Stande kommt. Auch hierbei kann sich eine ungleiche Entwicklung der beiden die Iris zusammensetzenden Unterlagen bemerklich machen, so dass die Schenkel des Coloboms durch eine etwas hinter ihnen liegende, der sogenannten Uvea angehörigen Brücke von verschiedener Höhe verbunden sind (*Coloboma superficiale*, auch *incompletum Auct.*), auch eigentliche Brücken-Colobome (*Colobome à bride*) können dabei zu Stande kommen.

Viel seltener sind, wie es scheint, die Fälle, in welchen beim *Coloboma oculi* das Iriscolobom fehlt, wie solche erst in neuester Zeit von SAEMISCH (17) (drei Fälle), (HOFFMANN (16)), TALKO (20) mit dem Augenspiegel entdeckt worden sind, und wie schon vor längerer Zeit je einer von GESCHEIDT und ARLT (13 p. 130) anatomisch beschrieben worden ist. Wenn auch keine Spalte, so war im letzteren Falle doch eine Verziehung der Iris nach unten, d. h. eine geringere Entwicklung am untern Theil derselben zu bemerken. Es könnten sich diese Befunde so erklären lassen, dass eine vorhanden gewesene Irisspalte später verwachsen sei, eine Erklärung, welche übrigens wenig Wahrscheinlichkeit hat, — oder es könnte die Störung der Spaltschliessung nur für die hinteren Abschnitte derselben wirksam gewesen, oder es könnte, wie HOFFMANN als möglich annimmt, eine kaum geschlossene Fötalspalte unter dem Einfluss des intraocularen Drucks wieder auseinandergetrieben worden sein.

Zur Entscheidung dieser Frage fehlen uns zur Zeit noch weitere pathologisch-anatomische Untersuchungen hierhergehöriger Augen, ebenso aber auch noch Beobachtungen über die normale Entwicklung des menschlichen Auges. Dass übrigens die Kopfplatten, aus welchen die vorderen Bulbusabschnitte hervorgehen, einen beschränkenden Einfluss auf die Diastase der Spalte ausüben können, möchte wohl daraus hervorgehen, dass das Colobom des *Corpus ciliare*, wie schon erwähnt, niemals die Breite erreicht, wie weiter hinten, wenn anders noch ein einigermassen normal gebildeter Bulbus vorliegt.

Das mehrfach beobachtete Colobom der Scheide des Sehnerven, sowie die Missstaltung der Papille sind aus der Beziehung der Augenspalte zu demselben, insbesondere deren Fortsetzung auf ihn bei Gelegenheit der Aufnahme der *Arteria centralis retinae* wohl verständlich. Der abnorme Verlauf, welchen deren Verzweigungen dabei einschlagen, indem dieselben das Colobom völlig vermeiden, oder wenigstens nur sehr spärliche Reiser hineinsenden, lassen uns auf die Ausdehnung der vorhandenen Netzhaut rechte interessante Schlüsse machen: wir haben hier ein ganz analoges Verhalten vor uns, wie es der normale Augenhintergrund mit Bezug auf die Gegend der *Macula lutea* bietet.

§ 12. Aetiologie und Statistisches. Die wenigen statistischen Daten, welche wir über das Vorkommen des *Coloboma oculi*, über Complicationen desselben mit anderen Missbildungen, auch über aetiologische Verhältnisse besitzen, verdanken wir grossentheils FICHTE (2), der die ihm aus der Litteratur bekannten Fälle unter diesen verschiedenen Gesichtspuncten zusammengestellt hat. Nachdem das lange Zeit bekannte *Coloboma iridis* durch wiederholte Beobachtung den Reiz der Rarität verloren hatte, der ihm auch durch das ätiologische Moment des »Versehens« nicht weiter erhalten werden konnte, so wurden die einzelnen

Fälle nicht mehr der Erwähnung werth gehalten, so dass selbst die sorgfältigste litterarische Nachforschung zu einer allgemeinen Ansicht über dessen Häufigkeit nicht verhelfen würde. Seitdem aber der Augenspiegel die merkwürdige Complication des Irisdefectes mit Spaltungen im Bulbusinneren entdeckt hat, seit wiederholte anatomische Untersuchungen uns das ganze Bild des *Coloboma oculi* enthüllt haben, ist noch zu kurze Zeit verflossen, als dass man zu einer Uebersicht hätte gelangen können, und ist noch weniger Veranlassung, einfache, nicht complicirte Iriscolobome bekannt zu geben, so dass wir jetzt nicht einmal beurtheilen können, ob die letzteren, oder die mit inneren Colobomen verbundenen häufiger vorkommen.

Im Allgemeinen lässt sich wohl sagen, dass das Colobom eine nicht gerade seltene Missbildung, unter denen des Auges jedenfalls eine der häufigsten, wenn nicht die häufigste ist.

In Bezug auf das Geschlecht scheint keine Bevorzugung zu bestehen. Fichte fand unter 78 Fällen von Iriscolobom 44 beim männlichen, 34 beim weiblichen Geschlechte; auch in Bezug auf die Farbe der Iris lässt sich keine bestimmte Differenz feststellen.

Was die Betheiligung beider Augen an der Missbildung betrifft, so kommt dieselbe wie es scheint häufiger doppelt als einseitig vor: bei Fichte unter 77 Fällen 51 mal doppelseitig; dabei ist aber der Grad häufig auf beiden Augen ein ungleicher, und zwar gilt dies auch in Bezug auf die Complication mit dem inneren Colobom, das auf dem einen Auge fehlen, auf dem andern vorhanden resp. wahrnehmbar sein kann.

Ist die Irisspalte unilateral, so trifft sie meist das linke Auge, ohne dass diese Erfahrung durch irgend einen physiologischen Grund gestützt werden kann. Fichte fand auch bei bilateralem Colobom den höheren Grad in der Mehrzahl auf dem linken Auge.

Bei einer jeden Missbildung ist von besonderem Interesse deren Vorkommen bei mehreren Gliedern einer Familie, da hierin zugleich das ätiologische Moment der Heredität begriffen ist. In der That fehlt es nun auch nicht an Beobachtungen, wo dieser Bildungsfehler bei mehreren Geschwistern, aber auch bei Eltern und Kindern sich vorfand; die letzteren Fälle, welche besonders für die Vererbung sprechen würden, scheinen übrigens selten zu sein. Von Bloch und Conradi wird je einer angeführt, wo Vater und Sohn, von letzterem, wo auch der Grossvater mit dem Leiden behaftet war. So geneigt man also auch sein mag, bei Missbildungen an Heredität zu denken, so auffallend auch bei der fraglichen einzelne positive Fälle sein mögen, so sind sie doch viel zu selten, um jene dabei als ein besonders werthvolles ätiologisches Moment aufführen zu dürfen. Das des sogenannten »Versehens« der schwangeren Mutter, das, wie bei allen Bildungsfehlern so auch bei den in Rede stehenden früher vielfach zu Hülfe gerufen wurde, kann eben auch nur aus diesem historischen Grunde einfach erwähnt werden: dass dabei die Katzenpupille eine grosse Rolle spielte, liegt nahe genug.

So sind uns denn die Ursachen oder Veranlassungen dieses Bildungsfehlers, wie bei so vielen anderen, noch völlig unbekannt, und wir können nur vermuthen, dass dieselben im engeren Sinne locale d. h. eben nur in dem sich entwickelnden Organe wirksame sind, keineswegs aber solche, welche auf das

Wachsthum des ganzen Fötus einwirken. Wie in dem einleitenden Paragraphen auseinandergesetzt wurde, kann bei der Entwicklung des Auges eine, vielleicht an sich unbedeutende, Störung oder Hemmung zu sehr wesentlichen Abweichungen vom normalen Entwicklungsgang, insbesondere zu Retardationen führen, für welche es später keinen vollkommenen Ausgleich mehr gibt.

Wir müssen gerade hier solche ganz local wirkende Störungen annehmen, so sehr man auch hin und wieder geneigt war, allgemeinere zu vermuthen, wenn Complicationen dieses Bildungsfehlers mit solchen anderer Organe aufgefunden wurden. So war es insbesondere das in einigen Fällen beobachtete gleichzeitige Vorkommen von anomalen Spalten im Gesicht: Hasenscharte, Wolfsrachen, Lidcolobom, auch von Hypospadie, in denen man ein Analogon des Iriscoloboms vor sich zu haben glaubte, aus welchem man auf eine gemeinschaftliche Ursache schliessen wollte; abgesehen von der immerhin grossen Seltenheit dieser Befunde, haben wir die Nichtigkeit jener Analogie nun völlig kennen gelernt.

Ausser den schon erwähnten Missbildungen des Bulbus, welche mit dem Colobom in innigem und leichter verständlichem Causalnexus stehen, sind mehrfach noch andere Anomalien des colobomatösen Auges gesehen worden, von ihnen aber keine als eine besonders häufige Combination: so *Embryotoxon* (*corneae*), *Cataracta, Glaucoma (?), Ptosis palp.*, von denen es aber nicht ausgemacht ist, ob sie auch wirklich angeboren waren. Von einigen Autoren (Beer, Ammon u. A.) wurde auf eine besondere Häufigkeit des erworbenen grauen Staares bei Colobom hingewiesen, ohne dass jedoch diese Vermuthung durch eine irgend ausreichende Statistik gestützt wäre. Im Gegensatze dazu lehrt uns gerade die Erfahrung, dass *Cataracta congenita* verhältnissmässig selten mit Colobom vorkommt, selbst wenn die Gestalt der Linse dadurch gelitten hat, wie eingeschränkt die Wirksamkeit des die Missbildung veranlassenden Moments in bei weitem den meisten Fällen ist.

§ 13. Angeborener Irismangel. Der vollständige Mangel der Iris (*Aniridia, s. Irideremia totalis*): d. i. der über ihre ganze Circumferenz sich erstreckende, ist weit häufiger als der theilweise beobachtet worden. Schon die ältere Litteratur (s. Gescheidt (41)) enthält davon so viele Beispiele, dass es überflüssig erscheint, dieselben einzeln aufzuführen, was übrigens, wie sich zeigen wird, nicht ausschliesst, dass dieser Bildungsfehler, wenn er auch kein sehr seltener ist, doch noch in mancher Beziehung einer genauen Untersuchung werth ist und weiterer Aufklärung bedarf. Vor allem fehlt es noch an einer wiederholten genauen anatomischen Darstellung [1]), welche schon von vornherein nöthig wäre, um zu constatiren, ob in den unter der totalen Irideremie zusammengestellten Fällen es sich auch wirklich um einen völligen Mangel des betreffenden Organes, oder etwa nur um eine verkümmerte Entwicklung handelte, eine Frage welche auch durch den Augenspiegel nicht ganz sicher zu entscheiden ist. Unter die

---

1) Für einen Fall von Aniridie besitzen wir von H. Pagenstecher (Zehenders Monatsbl. 1871 p. 427) eine anatomische Beschreibung. Es zeigte sich hier eine feste Verbindung zwischen vorderem Rand des Corp. cil. und der Hornhaut, durch einen schmalen pigment- und gefässreichen Fortsatz an Stelle des Lig. irid. pect. — eine Verbindung, welche für das ursprüngliche normale Verhältniss zwischen Choroidea und Cornea von grosser Bedeutung ist. (Vgl. vor. Cap. § 20.)

totale Aniridie werden nämlich auch Fälle gerechnet, in denen ausdrücklich angegeben wurde, dass nur ein ganz schmaler Rand der Iris sichtbar gewesen sei. Wenn man dazu den in allen Augen hinter dem Cornealrand versteckten Theil derselben hinzufügt, so würde es sich immer noch um einen nicht unbeträchtlichen Rest gehandelt haben, und man würde also nur von einem partiellen Defect reden können. Unter *Irideremia partialis* versteht man aber nicht eine solche rudimentäre Schmalheit der Iris, sondern eine Unterbrechung des Ringes, so dass etwa nur die Hälfte oder ein noch kleinerer Theil ihrer Circumferenz vorhanden ist. Letzteres Verhalten nähert sich etwas dem oben besprochenen *Coloboma iridis*, ist aber seinem Wesen und seiner Entwicklung nach total von diesem verschieden, was schon daraus hervorgeht, dass während totale und partielle Irideremie bei einem Individuum vorkommt, ein gleichzeitiges Vorkommen von Irideremie und Colobom bis jetzt nicht beobachtet worden ist.

Der totale Irismangel verleiht dem Auge immer ein sehr befremdendes Aussehen, welches allerdings noch durch die Bemühungen des Patienten, sich gegen das Licht zu schützen oder auch durch andere Umstände bedeutend erhöht wird. Das Auge erscheint wohl im Ganzen dunkel, bei genauerer Betrachtung ist das grosse Pupillenfeld aber weniger schwarz als normal, sondern, auch bei völliger Durchsichtigkeit der Linse, eher etwas graulich, wie das bei sehr weiten Pupillen fast immer der Fall ist. Von mehreren Beobachtern wird angegeben, dass das Auge röthlich aufgeleuchtet habe, eine Eigenschaft, die wir ebenfalls als eine bei dem fraglichen Defect fast allgemeine ansehen müssen, wenn die Beleuchtungsverhältnisse günstig sind.

Die Hornhaut zeigte manchmal Abweichungen in Bezug auf Form und Krümmung auch da, wo der Bulbus im Ganzen gut gebildet war. Man bemerkte eine besondere Breite des opaken Cornealsaumes, gleich wie ein Uebergreifen der Sklera in die Cornea, eine meist vertikal ovale Basis, mehrmals eine vermehrte, wohl konische Krümmung derselben. Die vordere Kammer s c h e i n t meistens recht tief, ist es aber gewiss nicht immer, wie die Functionsprüfung verrieth und auch in einem Falle von Ruete (42 p. 633) direct nachgewiesen wurde, wo die Linse der hinteren Hornhautfläche ganz nahe lag.

Der Zustand der Krystalllinse war bei vielen Patienten ein abnormer: *Cataracta congenita* ist von der Mehrzahl der Autoren erwähnt, von manchen aber auch das spätere Entstehen der Cataract constatirt worden. Die Form des Staars war, selbst bei erwachsenen Individuen noch die einer vorderen und hinteren Polarcataract, mit welcher sich, wie ich selbst in einem Falle sah, Streifen vom Aequator herkommend verbanden; letztere gehörten manchmal nur dem hinteren Cortex an; auch Kapselstaare mögen, der Beschreibung nach, öfters vorgekommen sein. Nicht unwichtig ist die relative Häufigkeit der beweglichen Staare, welche, als halb- oder ganzluxirte, die vorhandenen Sehstörungen natürlich noch bedeutend vermehrten; es geht daraus ohne Zweifel hervor, in welch defectem Zustande die *Zonula Zinnii* sich häufig befindet.

Zum Theil diesen Linsentrübungen, zum Theil den mangelhaften Untersuchungsmitteln der früheren Zeit ist es zuzuschreiben, dass wir über die inneren Zustände der Irislosen Augen so wenig wissen. Die Angaben, die wir darüber besitzen lauten fast alle negativ. Abgesehen von dem Augenhintergrunde muss es auffallen, dass von mehreren Beobachtern mit Bestimmtheit angegeben

wird, es sei von den Ciliarfortsätzen Nichts zu sehen gewesen. Dass dieselben nicht ohne Weiteres wahrgenommen werden können, wurde übrigens gegenüber einer von einer Pariser gelehrten Gesellschaft geäusserten Ansicht schon von M. Jäger (43) hervorgehoben. Wenn aber auch, wie Ruete (42) angibt, mit dem Augenspiegel nichts davon zu entdecken war, so müsste man annehmen, dass dieselben doch noch durch einen Irisrand verborgen oder abnorm klein waren. Letzteres ist bei dem innigen genetischen Zusammenhang zwischen diesen Gebilden und der Iris nicht ganz unwahrscheinlich: jedenfalls ist dieser Punkt bei ferneren Untersuchungen besonderer Beachtung werth. Vom Fundus wird in den von Ruete untersuchten 3 Fällen bemerkt, dass derselbe mit dem Ophthalmoscop untersucht, nichts Abnormes geboten habe; bei einem der 3 Geschwister waren damit einige Trübungen, dem Glaskörper angehörig erkennbar.

In den seltenen Fällen von *Irideremia partialis* war von der Iris nur ein oberes oder unteres grösseres Segment vorhanden, so dass dieselbe einen Halbmond bildete, oder es zeigten sich kleinere Segmente derselben in Form flacher gegen die Pupille convexer Bogen, oder vielleicht auch, nach einer Untersuchung von Sichel (44) ragten davon einzelne Fetzen in die vordere Kammer herein. Ob letztere bis zur gegenseitigen Berührung verwachsen und dadurch eine sogenannte Polykorie darstellen können, wie Ruete vermuthet, ist wohl noch etwas zweifelhaft; jedenfalls kämen bei solchen Unterbrechungen der Continuität der Regenbogenhaut andere ursächliche Momente in Betracht, als bei der einfachen Irideremie.

§ 14. Sehstörungen bei Irideremie. Die Sehstörungen, welche bei irislosen Kranken vorkommen, sind hochgradig und mannigfach; leider sind zur genauen Bestimmung die älteren Angaben nicht präcis genug; doch lassen sich auch jene unter die Kategorie der Kurzsichtigkeit, Schwachsichtigkeit und Lichtscheu unterbringen. Dass die mehrfach gemachte Angabe, die Kranken hätten in der Ferne besser gesehen, als in der Nähe, nicht ohne weiteres auf einen Mangel der Accommodation zu beziehen ist, haben schon die von Ruete angestellten Prüfungen bei *Aniridia congenita* wahrscheinlich gemacht, für die erworbene die v. Graefe's ausser Zweifel gesetzt, so dass für das Fehlen der Accommodation auch eine mangelhafte Bildung des *Tensor choroideae* angenommen werden müsste. In der Regel war die Missbildung mit »Kurzsichtigkeit« verknüpft d. h. die Individuen sahen nahe Gegenstände besser als entfernte: ob es sich dabei aber um wirkliche Myopie oder Amblyopie handelte, ist in keinem Falle sicher gestellt: beides aber ist fast in gleichem Grade wahrscheinlich. Für die letztere wäre in vielen Fällen die Linsentrübung verantwortlich zu machen, erstere würde in dem von Ruete geführten Nachweis der veränderten Lage der Linse (s. o.) begründet sein, abgesehen davon, dass auch eine birnförmige Gestalt des Bulbus gefunden wurde. Die gleichen oder andere Refractionsanomalien können auch durch etwaige Krümmungsänderungen der Hornhaut bedingt sein.

Auffallend ist, dass manche der Patienten so sehr von Lichtscheu gequält werden, dass sie fortwährend das Auge zukneifen, wodurch wohl auch die enge, und besonders niedrige Lidspalte sich ausbildet, welche bei Irismangel in der Regel vorhanden ist, während andere wieder davon fast ganz frei sind. Dass durch das eindringende Licht nicht nur wegen seines zu grossen Quantums, sondern auch

wegen der bedeutenden Diffusion des durch die peripherischen Theile des Pupillenfeldes einfallenden »Blendung« erzeugt wird, scheint unvermeidlich, und es liegt wohl an einer gewissen Stumpfheit des Gesichtssinnes, wenn dieselbe fortfällt. Dass aber eine Centrallinsen- oder Kapselcataract nicht, wie man naiver Weise geäussert hat, eine Abhilfe dagegen sein kann, wodurch die Natur den von der Iris begangenen Fehler wieder gut zu machen sich bestrebt, geht schon daraus hervor, dass die meisten Irislosen Augen mit einer solchen angeblich schützenden Cataract behaftet und doch lichtscheu sind. Als Folge der Photophobie gilt nun auch der häufig bei diesen Kranken beobachtete Nystagmus. Ausserdem mag auch angeführt werden, dass dieselben öfters an Augenentzündungen leiden, ja dass ein gewisser Reizungszustand bei einzelnen selbst auf längere Dauer besteht, wie ich das selbst bei einem beobachtet habe.

§ 15. Vorkommen und Aetiologie der Irideremie. Das Vorkommen betreffend ist hervorzuheben, dass der Irismangel bis jetzt mit einer einzigen Ausnahme (Morison) immer auf beiden Augen zugleich gefunden worden ist.

Fragen wir nach der Aetiologie der Irideremie, so fehlt es uns hier, wie bei so vielen Missbildungen, an einer bestimmten Antwort, nur drängt sich dabei das Moment der Vererbung sehr hervor. Es sind zwar nur wenige Beispiele, wo dieselbe von Eltern auf Kinder übertragen wurde, aber dieselben sind an sich um so auffallender.

So berichtet Gutbier (45) von einer Familie in Gravenod, in welcher der Irismangel bei vier auf einander folgenden Generationen sich zeigte: innerhalb einer Generation war immer ein Theil der Geschwister davon frei. Der Stifter dieses Familienübels war unter 8 Brüdern allein damit behaftet; von seinen 8 Kindern dagegen 3 Knaben; einer von diesen zeugte 4 Knaben, von welchen 3 mit einer totalen, 1 mit einer partiellen Irideremie behaftet waren. Die Kinder und Enkel des letzteren hatten normale Augen, während unter denen eines anderen Bruders ein gesunder Knabe und ein Irisloses Mädchen sich befanden; auch ein Mädchen des 3ten Bruders hatte diesen Fehler. Wir haben also hier in vier Generationen 10 Fälle von Aniridie, gewiss ein eclatantes Beispiel einer vererbten Monstrosität. Henzschel (46) berichtet von drei Irislosen Mädchen eines Mannes, der selbst nur eine rudimentäre Iris hatte; dessen zwei andere noch lebende Kinder hatten normale Augen.

Zur Erklärung der Genesis des beschriebenen Bildungsfehlers haben die früheren Autoren verschiedene Hypothesen construirt, — Sichel hatte denselben für eine *Mydriasis congenita* gehalten, — von denen aber keine auf genauer bekannten entwicklungsgeschichtlichen Daten ruhte. Während Mehrere (Himly u. A.) einen zu schwachen Bildungstrieb in der frühesten Entwicklungsperiode des Auges beschuldigten, vermuthete Seiler, mehr im Sinne der Arnold'schen Ansicht, eine Obliteration der für die Iris bestimmten Gefässe, Behr meinte, letztere sei bei einer zu starken Resorption der Pupillenmembran unrechtmässigerweise mit resorbirt worden, Prael lässt gar die Natur in der Uebereilung, die Linse fertig zu bringen, die Irisbildung vergessen. v. Ammon, der jede Hypothese für verfrüht hält, macht nachdrücklich auf die normale Entwicklung der Iris, insbesondere

auf deren späteren Eintritt aufmerksam, und betrachtet die Irideremie einfach als eine »Hemmungsbildung«, ein Stehenbleiben der Uvea auf einer früheren Entwicklungsstufe.

Wollen wir uns nicht mit der Annahme eines »zu schwachen Bildungstriebes« begnügen, sondern weiter fragen, wodurch denn die Irisbildung gestört worden ist, so geben uns auch unsere jetzigen embryologischen Kenntnisse darüber keine bestimmte Antwort, verweisen uns aber auf eine jener vorausgehende Bildung, von welcher sie, als eine weit spätere, abhängig ist, nämlich auf die Linse. Nehmen wir z. B. an, es bestehe länger als gewöhnlich ein besonders fester Zusammenhang zwischen Linse und vorderer Wand der Bulbuskapsel, wie er für einzelne angeborene Staarformen als wahrscheinlichste Ursache angenommen werden muss, so wird ein Vorwachsen der Iris nicht möglich sein, oder wenn jene Verbindung an einigen Stellen weniger fest ist, eben auch nur an diesen erfolgen können. Von Bedeutung für eine solche Annahme ist einestheils die von Ruete nachgewiesene, bis zur Cornea vorgeschobene Lage der Krystalllinse (vgl. 157), anderntheils die so häufig beobachteten Trübungen dieses Organs, und Lösungen seines Aufhängebandes. Man hat freilich den Grund für die betreffenden Staare darin finden wollen, dass die Iris das Ernährungsorgan der Linse sei, eine Annahme, welcher jedoch die Erfahrungen, die man bei künstlichem und angeborenem Colobom gemacht hat, nicht günstig sind.

Wir können also die Irideremie immerhin für eine Hemmungsbildung nehmen, indem wir die Ursache der Hemmung in die Linse verlegen, die eine analoge Rolle dabei spielte, wie wir das von dem embryonalen Glaskörper bei der Entstehung des Coloboms gesehen haben.

Für diejenigen Fälle, in welchen ein schmaler und sehr durchsichtiger Irissaum vorhanden gewesen sein soll, würde man eine einseitige Wucherung des aus der Augenblase hervorgehenden hintern Iristheils annehmen müssen, welchem die gleichzeitige Entwicklung des Kopfplattenantheils gefehlt hätte, eine Ungleichheit, wie wir sie im beschränkten Maasse auch beim Colobom gefunden haben; doch bedürfen jene Fälle noch zu sehr der Bestätigung, als dass man sich weiter auf ihre Erklärung einlassen könnte; zu einer solchen fehlt uns aber, wie für die gewöhnliche Form der Irideremie, eben noch vor Allem eine genaue anatomische Untersuchung.

§ 16. Korektopie. Wir haben schon beim Colobom häufig eine Verschiebung der (normalen) Pupille nach jenem hin gefunden, und dieselbe als durch den Zug der in den Rändern des Spaltes vorhandenen radiär gestellten Muskelfasern bedingt erachtet. Eine solche excentrische Lage der Pupille kommt nun auch hin und wieder ohne wahrnehmbare Irisspalte vor und hat von Gescheidt (41), welcher davon einige Fälle beschrieben hat, den Namen Korektopie erhalten. Gescheidt unterscheidet auch hier wie beim Colobom mehrere Grade, von welchen der niederste nur eine leichte Vermehrung der normal vorkommenden Excentricität der Pupille darstellt, und so auch nach derselben Seite erfolgt, wie diese, nämlich nach Innen und Unten. Dieser niederste Grad der Missbildung soll häufig vorkommen, und hat an und für sich auch keine besondere Bedeutung. Selten sind die höheren Grade, in welchen die ganze Pupille aus dem Centrum der Iris herausrückt und sich dem Hornhautrand nähert, oder

an diesen zu liegen kommt. Hierbei erfolgt die Verschiebung ebenfalls in der Mehrzahl der Fälle nach unten, oder nach unten-innen, doch ist auch eine solche nach anderen Richtungen namentlich nach **oben** beobachtet worden, was für ihr Verhältniss zum Colobom von Wichtigkeit ist. Während nämlich mehrere von der ersteren Form ganz entschieden diesem zugerechnet werden müssen, kann das für die nach aussen oder oben liegenden Pupillen nach dem, was wir über die Genese der Irisspalte erörtert haben, natürlich nicht gelten, wenn man nicht zur Annahme einer abnorm gelegenen Fötalspalte flüchten will. Das unterscheidende Moment liegt im Verhalten des innern Irisrings resp. des Sphincter, dessen **Defect** allerdings sofort das Colobom verräth, doch könnte eine besondere Art der Umbiegung seiner Faserzüge in die Schenkel der Spalte, wie sie manchmal vorkommt, auch hier die Entscheidung erschweren; die gleichzeitige Anwesenheit eines Choroidealcoloboms würde diese natürlich wieder erleichtern. Instructiv sind Fälle, wie v. Graefe[1]) zwei beschrieben hat, und wie ich selbst vor längerer Zeit einen zu beobachten Gelegenheit hatte, bei welchem das Uebel auf beiden Augen bestand, auf dem rechten eine geringere Verschiebung nach **unten**, auf dem linken eine so starke nach **oben**, dass die ganze Pupille eine excentrische Lage ganz nahe dem oberen Hornhautrande hatte. Die Bulbi des 18 jährigen Burschen sind normal gestaltet, aber beide stark nach innen gestellt. Die Irides sind von hellbrauner Farbe, die Kammer tief, R. starkes Irisschwanken vorhanden; die Pupillen senkrecht oval, reagiren gut, die rechte erscheint rein schwarz, hinter der linken taucht bei Bewegungen eine weissliche Masse auf, die offenbar als geschrumpfte Cataract zu deuten ist. Der Patient ist sehr amblyopisch, zählt R. Finger auf einige Fuss Entfernung, L. ist nur quantitatives Sehvermögen vorhanden; bei schwacher Beleuchtung, bei Dämmerung kann sich derselbe nicht allein führen. Von Augenentzündungen weiss er Nichts anzugeben, in der Kindheit soll die Sehkraft noch schlechter gewesen sein. Unter seiner Verwandtschaft ist ihm eine solche Missbildung nicht bekannt.

Bei der Beantwortung der Frage nach dem Entstehen der Korektopie wären vorerst alle diejenigen Fälle auszuscheiden, welche dem Colobom angehören[2]), und müssten wir für die übrigen auch den Zustand der Iris genauer kennen, als er aus den meisten Beschreibungen zu entnehmen ist. Es würde sich dann wohl zeigen, dass die »reinen« Formen der Ektopie, bei welchen die Iris auch in der Structur keine Abweichungen zeigt, jedenfalls sehr selten sind, und wohl auch kein sehr grosses Interesse bieten. Wenn wir die Entstehung der betreffenden Membran, ihr Verhältniss zu der Pupillarmembran, und wiederum zur Linse in Betracht ziehen, so wird es uns nicht sehr befremden, dass das Wachsthum des hervorsprossenden Irisringes nicht immer ein an allen Puncten gleichmässiges sein kann, ohne dass wir freilich im Stande sind, die Natur der Störungen, welche solche kleinere oder grössere Ungleichheiten herbeiführen, jedesmal genau anzugeben. Schon im vornhinein ist aber wahrscheinlich und wird durch den eben beschriebenen Krankheitsfall noch nähergelegt, dass die Krystalllinse und Pupillarmembran öfters an jenen Störungen Schuld tragen wer-

---

1) v. Graefe (34 p. 255), Hutchinson (35).

2) Dahin gehört auch das Vorkommen der excentrischen Pupille bei Mikrophthalmus s. den Fall von Müller in Ammon's Zeitschr. V. p. 322 u. Wilde (150 p. 70 u. 98).

den. Für den Einfluss der ersteren möchten auch die von v. Graefe s. o. und zwei von Mooren (52) beobachtete Fälle sprechen, in welchen die Pupillen auf beiden Augen nach oben und aussen verschoben waren, und eine Linsenluxation (in welcher Richtung?) bestand; diese Complication fand sich in gleicher Weise bei zwei Brüdern. Schwartz fand die Korektopie bei 3 Geschwistern.

Wie in diesem Falle war in den meisten andern die ektopische Pupille nicht rund, sondern mehr weniger oblong; über deren Beweglichkeit ist wenig notirt. Bei einem von Simrok (54) untersuchten Mädchen waren die Pupillen sehr eng, eckig, und nach oben und innen gestellt. Die Iris zeigte nicht das gewöhnliche Relief, eine dadurch gegebene Trennung eines innern und äussern Kreises fehlte; »die Zeichnung an der Oberfläche beschränkte sich auf eine radiäre Streifung, welche vom Ciliar- bis zum Pupillarrand sich erstreckte, und der oberflächlichen Lage einer dicken Schicht radiär verlaufender Faserbündeln ihre Entstehung verdankte. Alle anderen Theile der Augen waren normal, das Sehvermögen vortrefflich.«

Aus der leider nicht ganz klaren Beschreibung, welche der Autor von der Structur der Iris gegeben hat, geht hervor, dass durch Spalten zwischen jenen radiären Faserbündeln, welche nicht etwa für Muskelfasern, sondern für Zellgewebsfasern und Gefässe zu halten sind, die tieferen Lagen der Iris gesehen werden konnten, bestehend aus gegitterten Muskeln und der sog. Uvea. Verfasser vermuthet in einer ungleichen Vertheilung der circulären Muskeln den Grund der Verschiebung der Pupille, und glaubt seine Annahme dadurch unterstützt, dass bei Anwendung von Belladonna mit der Myose auch die Ektopie verschwand, eine Erscheinung, welche übrigens gewiss mindestens ebensogut durch eine geringere Breite der Iris nach innen und oben erklärt werden kann.

v. Ammon (55 p. 36) hat ein Auge mit Korektopie anatomisch untersucht und abgebildet (Taf. IX. Fig. 22), die kleine runde Pupille stand nach innen-unten; Cornea länglich, Sklera dünn, Linse und Glaskörper normal, die vordere Kapsel hing der Uvea dicht an und zeigte einige trübe Stellen; auch an der Retina waren einige unbedeutende Abnormitäten. Der Ciliarring war »mehr länglich als rund«.

§ 17. Membrana pupillaris perseverans. Seit Ad. Weber (56) im VIII. Bande des Graefe'schen Archivs die Aufmerksamkeit auf das Vorkommen von Ueberresten der Pupillarmembran von Neuem gelenkt hat, sind in rascher Folge und ziemlicher Zahl einschlägige Fälle jener Missbildung bekannt gemacht worden, aus welchen hervorgeht, dass dieselbe keineswegs zu den seltneren Vorkommnissen gehört. Deswegen und weil in der That eine grosse Uebereinstimmung in den wesentlichen Eigenschaften der einzelnen Beispiele sich herausgestellt hat, wodurch auch die Diagnose jede Schwierigkeit verloren hat, sind in den letzten Jahren wohl weitere Publicationen unterblieben.

Die von Weber gelegentlich der Beschreibung eines von ihm selbst beobachteten sehr interessanten Falles von *Membrana pupillaris perseverans* vorgenommene Zusammenstellung und Sichtung des in der älteren Litteratur darüber niedergelegten Materials hat ergeben, dass der grössere Theil der dort publicirten Fälle nicht jenen Bildungsfehler bezeichnet, oder wenigstens zweifelhaft in Bezug auf die Diagnose bleibt, indem gewiss öfters aus fötalen oder späteren

Irisentzündungen hervorgegangene hintere Synechien mit eingerechnet wurden. Eine solche Verwechslung, damals wohl verzeihlich, ist jetzt kaum denkbar, nachdem Weber auf das unterscheidende Moment: den Ursprung der Pupillarmembranreste, sie mögen eine Gestalt haben, welche sie wollen, aus der vorderen Fläche der Iris hingewiesen hat. Die häufigste Form, in welcher jene Reste beobachtet worden sind, ist die von gröberen oder feinen Fäden, welche aus den Bogen oder Zacken des *Circulus iridis min.* entspringen, den Pupillarrand überschreitend zur vorderen Kapsel treten, auf welcher sie isolirt oder in Vereinigung enden. (S. beistehende Abbildung eines von mir beobachteten Falles.)

Fig. 5.



Die Zahl dieser Fäden ist eine sehr verschiedene; manchmal war nur ein einziger, andere Male bis zu 12 und mehr vorhanden; diese bleiben auf ihren Verlauf zur vorderen Kapsel entweder isolirt, oder verästeln und verbinden sich schon unterwegs mit einander. Für ihre centrale Endigung in der Mitte der Linsenkapsel hat sich nun in einigen Fällen eine unregelmässig gestaltete Platte vorgefunden, welche, wenn auch mit jener verklebt, doch deutlich als eine Auflagerung auf dieselbe erschien. Statt einer solchen meist bräunlich gefleckten Platte fand Horner (57) in einem Falle eine wirkliche *Cataracta capsularis pyramidalis*. Sonst wurde die Krystalllinse in der Regel von jeder Trübung frei gefunden. Die Fäden selbst waren zum Theil pigmentirt und so lang, dass sie selbst bei starker Pupillenerweiterung nicht abrissen, ein Ereigniss, welches unter Atropineinfluss übrigens sehr wohl eintreten kann, ohne dass etwa eine Blutung beobachtet wurde. Das Verhältniss der Fädenursprünge zu dem Faserrelief der vorderen Irisfläche ist den Abbildungen nach, und wie ich selbst mehrmals beobachtet habe ein solches, dass dieselben gewissermassen als die Fortsetzungen der in jenem Relief nebeneinander liegenden Spitzbogen sich zeigen.

Es ist kaum zu zweifeln, dass diese fasrigen Reste der Pupillarmembran von der Geburt an noch weiteren Veränderungen unterworfen sind, indem einestheils der sonst vor der Geburt beendigte Resorptions- resp. Veränderungsprocess noch weitere Fortschritte macht, anderntheils das Spiel der Pupille Zerrung und Ablösung herbeiführt. [1]) Das letztere ist übrigens durch die vorhandenen »Synechien« kaum beeinträchtigt, da dieselben in keiner Weise mit dem Pupillarrand zusammenhängen, durch ihren oberflächlichen Ursprung auf der vorderen Irisfläche aber auch die Muskulatur derselben nicht berühren. Dies verhielt sich so auch in den zwei von Weber und Alfr. Graefe (58) beschriebenen Fällen, in welchen jene Reste so reichlich erhalten waren, dass dieselben eine eigentliche Schicht von Fasern vor der Iris bildeten, eine Art Membran vorstellten. Hinter dieser Membran, welche in dem Graefe'schen Falle einen sehr peripherischen

---

1) Das spätere spontane Verschwinden der Pupillarmembran, welches von mehreren Autoren bestimmt angegeben wird, ist darum auch zur nachträglichen differentiellen Diagnose der älteren Fälle verwendet worden.

dem Ciliarrand der Iris nahen Ursprung hatte, zeigte diese ein völlig freies Spiel, so dass durch Atropin ein hoher Grad von *Mydriasis*, wie durch Calabar von Myosis, herbeigeführt werden konnte; im ersteren Falle konnte dann durch das nun frei gewordene Gitter der Fasern eine normale Durchsichtigkeit der brechenden Medien, sowie ein normales Verhalten des Augengrundes constatirt werden. In Bezug auf letzteren ist als Ausnahme nur zu bemerken, dass in drei auf der Bonner Klinik beobachteten Fällen (63) markhaltige Nervenfasern in der Retina gefunden wurden. Ein, bis jetzt für alle gut beobachteten Fälle constanter, negativer Befund ist hervorzuheben: man hat niemals Trübungen der hinteren Linsenkapsel, oder Gefässreste im Glaskörper gefunden, ein Umstand, der auf eine gewisse, übrigens auch durch die Entwicklungsgeschichte nachgewiesene Unabhängigkeit des vorderen und hinteren Theils der gefässhaltigen Linsenkapsel hindeutet, wobei immerhin die von der hinteren Linsenfläche auf die vordere übergehenden, aus der *Arter. hyaloidea* stammenden Gefässe zu Grunde gegangen, die anderen aus den Kopfplatten in den vorderen Bulbusabschnitt eintretenden länger als gewöhnlich erhalten geblieben sein können. Die in Rede stehenden auf der vorderen Kapsel liegenden Gewebsreste gehören eigentlich der *Membr. pupillaris* an, während von der *Membr. capsulopupillaris* nichts mehr nachgewiesen werden kann; in letzterer liegen aber gerade die Communicationen der beiden Gefässsysteme.

Eine anatomische Untersuchung einer persistirenden Pupillarmembran steht noch aus, und es ist darum nicht genau festzustellen, ob und in wie weit die beschriebenen Fäden überhaupt verödete Gefässe, oder gefässhaltige Bindegewebszüge sind. Die genetische Bedeutung derselben ist dagegen schon durch die Henle'sche Darstellung der Irisentwicklung (s. vor. Cap.) noch mehr aber durch die neuesten Forschungen über diesen Gegenstand verständlich geworden. Wir sehen darin das selbständige Hereinwachsen eines aus der secundären Augenblase und den Kopfplatten combinirten Organs hinter einer den Bulbus nach vorn abschliessenden ebenfalls aus den Kopfplatten stammenden Gewebsschicht, mit welcher aber jene doch immer im Zusammenhange bleibt, so dass sie bei der Herstellung der vorderen Kammer als oberste Lage der Iris folgt, und wahrscheinlich durch das inzwischen sich ausbildende Epithel auf der hinteren Hornhautfläche diese verlässt. Die Pupillarmembran ist daher nicht, wie man früher wohl meinte, als eine nach innen gerichtete Fortsetzung der Iris zu beobachten, wodurch die Uvea (im älteren Sinne) zu einer vollkommen geschlossenen Blase ergänzt würde, etwa als zweite Hülle des Bulbus, sondern sie bildet einen Theil einer die secundäre Augenblase sammt Linse umgebenden gefässhaltigen Gewebsschicht der Kopfplatten, welcher sich dann in eine hintere Abtheilung die Choroidea und eine vordere die *Membrana pupillaris* differenzirt; die Entwicklung letzterer geht somit der der Iris voraus.

Die *Membr. pup. perseverans* wurde bis jetzt häufiger auf einem Auge als auf beiden gefunden.

Die durch dieselbe veranlassten Functionsstörungen richten sich ganz nach der Form der centralen Endigungen der vorhandenen Fäden, und bieten nichts Charakteristisches; die einzelnen Fäden stören, wie zu erwarten, das Sehvermögen nur sehr wenig; auch die Accommodation zeigte sich da, wo sie bestimmt wurde, nicht beeinträchtigt; man hatte darum auch keine Veranlas-

sung zur operativen Behandlung der Missbildung, die nur in einem Falle von GRAEFE unternommen wurde, wo die auf der vorderen Kapsel liegende Platte einen nicht unbeträchtlichen Theil der Pupille deckte, und dadurch vermuthlich die geringe Sehschärfe des betreffenden Auges ($^1/_{100}$) bedingte.

Ueber das Verhalten der Pupillarmembran bei *Coloboma iridis* geben uns Beobachtungen von SAEMISCH und TALKO einigen Aufschluss. Es bestand ein sogenanntes Brücken-Colobom, hergestellt durch einen Gewebsfaden, welcher aus dem *Circulus minor* hervorgehend, in gerader Richtung den Spalt überspannte (SAEMISCH) oder dabei einen Bogen aufwärts gegen den vorderen Pol der Linse bildete (TALKO). Wahrscheinlich erklären sich noch mehr Colobome von der genannten Art auf dieselbe Weise durch eine Vermittlung der Pupillarmembran.

§ 18. Polykorie, Dyskorie. Das Bestreben, in das Wirrsal der Missbildungen des Auges Ordnung zu bringen, und einen, vielleicht lange ohne Nachfolger bleibenden derartigen Befund vor Vergessenheit zu bewahren, hat die früheren Autoren zur Aufstellung einer so grossen Zahl von Benennungen veranlasst, dass daran die teratologische Terminologie fast reicher ist als die zugehörige Casuistik an Beispielen. Ein Theil dieser Namen sind Synonyma, sie bezeichnen verschiedene Grade, oder leichte Modificationen eines und desselben Bildungsfehlers, während ein anderer Theil eben nur die Aehnlichkeit der äusseren Erscheinung berücksichtigt, und so genetisch ganz verschiedene Zustände unter einem Titel zusammenwirft. Gerade für die Missbildungen der Iris finden wir eine Reihe von Namen, welche jetzt zum Theil überflüssig, zum Theil aber missverständlich geworden sind.

Der Name *Dyskorie* (v. AMMON) bezeichnet ganz allgemein jede Abweichung der Pupille von ihrer normalen runden Gestalt, welche natürlich sehr verschiedene Ursachen haben kann, unter denen die hintere Synechie, nicht als eigentliche Missbildung, sondern als Product einer fötalen Iritis gewiss nicht die seltenste ist. *Korestenoma congenitum* hat v. AMMON (17 p. 44) eine besondere Art der Pupillenmissstaltung genannt, welche durch Wucherungen des Pupillarrandes zu Stande komme, die manchmal so stark seien, dass sie sich berühren und dadurch mehrere Pupillen gebildet werden. Weitere Beobachtungen müssen erst lehren, von welcher Art jene Wucherungen sind, ob wir es vielleicht hier mit einer localen Hyperplasie des hinteren Blattes der Iris zu thun haben. Einen, wie es scheint, analogen Fall, hat neulich COLSMAN (60) beschrieben: der betreffende Patient hatte auf der vorderen Fläche beider Irides nächst dem Pupillarsaum eine dunkelbraun gefärbte blumenkohlartige Excrescenz, welche in die vordere Kammer ragte. Das sonstige normale Verhalten der Iris, sowie die völlige Symmetrie sprechen für einen congenitalen Ursprung. [1])

Was die überzähligen Pupillen (Polykorie, Diplokorie, Triplokorie) anlangt, so ist, so häufig davon in der älteren Litteratur auch die Rede ist, doch eigentlich kein Fall bekannt, wo mehrere normal gestaltete Pupillen auf einem Auge vorhanden gewesen wären. Wie bei der Ektopie so sind manche der beschriebenen Fälle gewiss traumatischer Natur. Abgesehen von solchen und den keineswegs hierhergehörigen Doppelpupillen im Cyclopenauge findet man unter obigem Titel sehr verschiedenartige Zustände zusammengetragen. Es sind darunter einfache, vollständige oder unvollständige radiäre Fissuren der Iris, wie wir

---

1) Eine eigenthümliche Missstaltung der Pupille beider Augen s. bei WILDE (150 p. 91).

sie auch bei Atrophie derselben entstehen sehen, ferner diejenigen Colobome, welche als Brückencolobome bezeichnet worden sind, und welche entweder in einem, gegen die Pupille hin zum Abschluss gekommenen Colobom bestehen (?), oder durch Reste der Pupillarmembran hergestellt worden sind.

Dass diese überzähligen Pupillen eine gewisse Beweglichkeit besitzen, beweist natürlich nichts für eine selbständige Entwicklung derselben, da die Bewegung der centralen Pupille selbstverständlich die ganze Iris interessirt, und alle in ihr vorhandenen Lücken, je nach Form, Grösse und topographischer Lage daran theilnehmen müssen. Einstweilen lässt uns das, was wir über die Bildung der Iris wissen, ein Zustandekommen mehrerer gleichwerthiger Pupillen nicht recht begreiflich erscheinen.

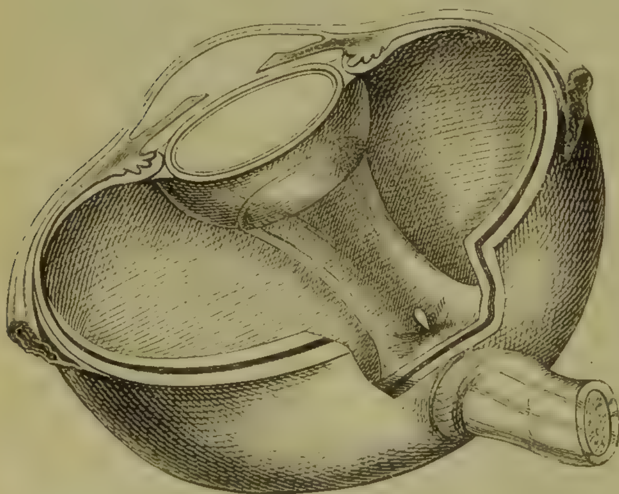
§ 19. Arteria hyaloidea persistens. H. Müller (67 p. 394) hatte im Jahre 1856 einen eigenthümlichen Zapfen beschrieben, welcher ganz regelmässig im Ochsenauge aus der Eintrittsstelle des Sehnerven hervorragt, und welchen er als Rest der *Art. hyaloidea* deutete. In der That setzt sich derselbe meistens in einen feinen Faden fort, welcher eine Strecke weit durch den Glaskörper gegen die hintere Linsenfläche hin verläuft. Dass es sich dabei wirklich um ein obliterirtes Gefäss handelt, zeigten ihm einige Kalbsaugen, in welchen dasselbe noch eine Strecke weit offen und mit Blut gefüllt war. Der Zapfen selbst, mehrmals von einigen Millimetern Höhe, besteht ausser jener Arterie aus einer streifigen oder granulirten Umhüllung derselben, in welcher sehr reichlich Kerne eingelagert sind. Eine ähnliche, nur viel schärfere Einscheidung umgibt auch den im Glaskörper verlaufenden Faden, in welcher mehr weniger zahlreiche längs-, niemals quergestellte Kerne liegen, in welcher aber auch von Stelle zu Stelle Anhäufungen der im Zapfenmantel so häufigen rundlichen Kerne vorkommen. H. Müller knüpfte an diese Angaben die Aufforderung, auch im menschlichen Auge mit dem Augenspiegel nach solchen Resten der ja auch hier während einer langen Fötalperiode existirenden *Art. hyaloidea* zu fahnden. Jenen Zapfen im Ochsenauge sowie die Spuren eines *Canalis hyaloideus* hatte wohl schon vorher Finkbeiner (68) gesehen, ohne aber der Arterie zu erwähnen; im menschlichen Auge dagegen hatte schon ein Jahr vor Müller, Meissner (69) einen 3 Mm. langen weissen Zapfen an der Eintrittsstelle gesehen, den er für einen Ueberrest der Glaskörperarterie erklärte. v. Ammon (70) brachte gewisse Formen des hinteren Kapselstaares mit einer vorzeitigen Obliteration jener für die Ausbildung und Ernährung der Linse so hochwichtigen Arterie in Verbindung und stützte sich dabei auf einen Befund bei einem blindgeborenen Kaninchen. Aber auch die an die Ophthalmoscopie gerichtete Aufforderung H. Müller's blieb nicht lange unbeantwortet. Schon im Jahre 1863 machte Saemisch (71), und an ihn sich anschliessend Zehender (72) je einen Fall bekannt, in welchem mit dem Augenspiegel in einem sonst normalen Auge ein Faden entdeckt wurde, welcher von der Sehnervenpapille aus bis an die hintere Linsenkapsel mitten durch den Glaskörper verlief. Der Ansatz an die Kapsel zeigte eine knopfförmige Verdickung, der Faden selbst in dem Zehender'schen Falle war bei auffallendem Licht (vordere Abtheilung) blutroth, bei durchfallendem dunkel, und schwankte bei der leisesten Augenbewegung hin und her. Derselbe Autor erwähnt auch einer analogen von Liebreich (73) ihm mitgetheilten Beobachtung; sowie (l. c. p. 350) einer von

Dr. TOUSSAINT (74) gemachten, in welcher der ursprünglich ziemlich dicke einfache Strang sich im Glaskörper in 3 Aeste theilte, von welchen der mittlere der stärkere und doppelkonturirt war, und welche sich divergirend an die hintere Kapsel ansetzten. Aehnliche Befunde beschrieben etwas später STÖR (75), LAURENCE (76) und MOOREN (77), welch letzterer jedoch den Ursprung der *Art. hyaloidea* nicht in der Centralarterie selbst, sondern in einem ihrer Aeste fand.

Hat somit das Ophthalmoscop in verhältnissmässig kurzer Zeit eine ziemliche Anzahl von Fällen einer *Arteria hyaloidea persistens* geliefert, so ist dagegen das entsprechende anatomische Material seither nicht viel gewachsen. Die vergleichende Anatomie hatte mir in einem sehr merkwürdigen Gebilde, welches ich in den Augen einiger australischer Reptilien, wie Trachysaurus und Lygosoma in ausgezeichneter Entwicklung fand, ein Analogon gegeben, in welchem aber der von der Eintrittsstelle aus in den Glaskörper hineinragende mächtige Zapfen statt eines Gefässes ein ganzes Convolut solcher enthält, wodurch zugleich eine Annäherung an den Pecten der Vögel gegeben ist.

In den Augen einiger hirnlosen Missgeburten (79 p. 14) zeigten sich öfters Reste der genannten Arterie, und in einem Falle ebenfalls innerhalb eines zapfenartigen Gebildes, welches aber nicht frei im Glaskörper, sondern in der Axe des Sehnerven verborgen lag, und leicht daraus hervorgezogen werden konnte. Der Conus erwies sich hier als eine, von einem Endothel überzogene, mächtig entwickelte Lymphscheide, welche in ihrem Centrum ein dickwandiges Gefäss enthielt, und in dem Centralkanal des Sehnerven ziemlich isolirt eingelagert war. Der Zapfen endigte mit stumpfer Zuspitzung im Niveau der Retina und die Arterie verlief von hier an, von einer mässig starken Adventitia umgeben durch den Glaskörper, in eine etwas verdichtete Schicht desselben (Wandung des *Canalis Cloqueti*) eingelagert. Die Verästlung erfolgte erst in der Nähe der Linsenkapsel, nur in einem Fall theilte sich das Gefäss gleich vor der Retina in zwei Aeste, von welchen der eine zum hinteren Pol, der andere mehr gegen den Rand der Linse verlief. Es ist nicht zu zweifeln, dass der kernreiche Zapfen, wie ihn H. MÜLLER vom Ochsenauge beschrieben hat, im wesentlichen eine ebenso construirte Lymphscheide vorstellt, wie ich sie an den übrigens ausgewachsenen menschlichen Missgeburten gefunden habe.

Fig. 6.



Im vorigen Jahr gewann ich nun auch ein Präparat einer *Art. hyaloidea persistens* in dem Auge eines auf der hiesigen Klinik verstorbenen 24jährigen Mädchens, von welchem beistehende Abbildung herrührt. Eine ophthalmoscopische Auffindung während des Lebens war wegen einer ausgebreiteten Hornhauttrübung nicht möglich gewesen. Auch hier sitzt in der Mitte der Papille ein ganz kleiner Zapfen, von welchem offenbar das übrigens völlig obliterirte Gefäss ausging. Dasselbe ist jedoch

umgeben von einem walzenförmigen weiten durchscheinenden Mantel, welcher so ziemlich durch die Mitte des Glaskörpers verläuft und mit einer bestimmt konturirten ovalen Scheibe an der hinteren Kapsel, etwas unterhalb deren Mitte ansitzt. In neuester Zeit hat Liebreich (80) im Glaskörper ausser einer persistirenden Arterie auch eine begleitende Vene gefunden, von deren Existenz im fötalen Auge bis jetzt noch Niemand etwas gesehen hat. Von der Centralarterie ging, nach seiner Beschreibung, ein kleiner Zweig in den Glaskörper ab, der nach kurzem Verlauf umbog und in ein venöses, um die Arterie geschlungenes Gefässchen überging.

§ 20. Angeborene Anomalien der Retina und des Nervus opticus. Von den angeborenen Anomalien des Sehnerven und seiner peripherischen Ausbreitung, der Retina, wird in den folgenden Paragraphen mehrfach die Rede sein: wir werden insbesondere dessen mangelhafte Ausbildung resp. atrophischen Schwund als eine häufige Complikation einer mangelhaften Entwicklung des Augapfels sowie bei vollständiger Abwesenheit der Augen finden. Die Defecte am Opticus zeigen sich entweder als ein völliges Fehlen desselben in seiner ganzen Länge, oder, was öfter der Fall, in einer unvollkommenen Ausbildung, so dass seine Stelle durch einen dünnen, marklosen Bindegewebsfaden — die leere Scheide des Nerven, wie mehrere Beobachter angeben — eingenommen ist. Eine solche Atrophie, wie sie gewöhnlich bei Anophthalmus, in einigen Fällen auch bei Mikropthalmus vorliegt, erstreckt sich nun in der Regel, soweit sie wenigstens dem unbewaffneten Auge sich offenbart, nur über die peripher vom Chiasma liegenden Stücke der Nerven, während die hinter ihm liegenden von ungefähr normalem Umfang gefunden wurden. Freilich fehlen genauere Untersuchungen darüber, ob die innere Structur der *Tractus opt.* auch wirklich eine normale war, ob in denselben markhaltige Nervenfasern vorhanden waren. Der äussere Anblick aber kann, wie uns neulich wieder die Untersuchungen von Leber gelehrt haben, darüber durchaus nicht entscheiden, weder für die *Tractus* noch für die *Nervi opt.*

Ecker hat bei einem anophthalmischen Mädchen, dessen Augenhöhle ich selbst durch dessen Güte nachträglich zu untersuchen Gelegenheit hatte, die *Tractus opt.* markartig und in denselben neben einer feinkörnigen Substanz wirklich einzelne markhaltige Nervenfasern gefunden. Die *Nervi opt.* waren nur etwa 1,6 Mm. breit, graulich durchscheinend, aus Bindegewebe und Blutgefässen gebildet, ohne eine Spur von Nervenröhren.[1])

Da auch von anderen Beobachtern das markhaltige Aussehen der Tractus angegeben wird (Seiler) (83), so ist um so mehr zu bedauern, dass über die Beschaffenheit des Chiasma selbst keine mikroscopischen Nachforschungen in jenen Fällen angestellt worden sind, welche schon für die normalen Leitungsverhältnisse im Sehnerven von grösstem Interesse wären.

Das umgekehrte Verhältniss, die offenbare Atrophie der Tractus bei scheinbarer guter Entwicklung der Sehnerven bis zum Chiasma, von dem übrigens schon keine Spur mehr vorhanden ist, findet sich, wie es scheint als Regel, bei den Anencephalen. Bei diesen liegt ein drehrunder Opticus von etwas unternormalem Kaliber wenigstens innerhalb der Orbita, der allerdings schon durch

---

[1]) Aus den mir gefälligst mitgetheilten Notizen des Beobachters.

seine röthlichgraue Färbung sich von einem normalen unterscheidet. Die mikroscopische Untersuchung (v. WAHL (84), MANZ (79)) hat denn auch gezeigt, dass keine Spur von Nervenfasern in ihm, sowie auch in der sonst ganz normal aussehenden Netzhaut vorhanden ist. Das Volumen des Pseudonerven nimmt schon gegen das obere Ende der Orbita sehr ab, und hinter derselben ist er auf einen dünnen Bindegewebsstrang, in welchem ein dünnwandiges Blutgefäss verläuft, reducirt, welcher auf der *Sella turcica* in einem Convolut von Bindegewebe und Blutgefässen sich verliert. An der Insertion am Bulbus geht der Opticus vollständig in die Sklera und Choroidea über, und entsendet nur einige Gefässe in die Retina und die *Art. hyaloidea* zur Linsenkapsel. Dadurch wird natürlich auch das Aussehen der Eintrittsstellen an der Retinalfläche geändert, indem sie hier nicht durch die sogenannte Papille, sondern nur durch die Verästlung der Gefässe gekenntzeichnet ist. Letztere sind besonders zahlreich und in den inneren Netzhautschichten ungewöhnlich weit.

Gegenüber diesen homologen Atrophien der orbitalen und intracraniellen Opticusstücke sind nun auch Beispiele eines gekreuzten Defekts aufgefunden worden, in welchen der Sehnerv der einen Seite und der Tractus der andern mangelhaft gebildet waren, ein Befund, in welchem für eine vollständige Decussation der Beweis gesehen wurde, jedoch mit Unrecht, da dieselbe äussere Erscheinung auch für eine theilweise Kreuzung erwartet werden muss. Ein solcher Fall ist von A. BURNS (85) bei einer blindgebornen Frau gesehen worden, wobei der eine Sehnerv vor, der andere hinter dem Chiasma atrophisch war. SÖMMERING (86) fand den rechten Opticus weit kürzer und dünner, als den linken und etwas durchscheinend, während sich der linke Tractus in eben jenem mangelhaften Zustand zeigte: dabei soll während des Lebens keine Sehstörung beobachtet worden sein (?). Von demselben Autor rühren noch zwei analoge Beobachtungen her, sonst scheint diese Missbildung doch ziemlich selten angeboren vorzukommen, wogegen eine abnorme Kürze oder auch Länge, sowie verschiedenes Kaliber der Sehnerven öfters gesehen worden ist.

Eine äusserst interessante Anomalie der intracraniellen Sehnerven ist der Mangel der Kreuzung, des Chiasma, für welche aber nur ein wohlverbürgtes Beispiel in der Litteratur existirt, obwohl davon mehrere andere citirt werden. Jenes betrifft eine Beobachtung von VESAL (87), welche derselbe zufällig bei der Section eines Mannes machte, der, soweit dies spätere Nachfrage ergab, niemals über Sehstörung, insbesondere nicht über Doppeltsehen geklagt hatte, was übrigens nicht gerade auffallend ist, da ja im Chiasma keineswegs eine Verschmelzung von Nervenfasern stattfindet, und letzteres somit nicht auf das Einfachsehen, sondern höchstens auf die Vertheilung des binoculären Gesichtsfelds Einfluss haben kann. Die in der Basler Ausgabe des VESAL vom Jahre 1555 enthaltene Stelle ist von H. MEYER im Arch. für Anat. und Physiol. von DUB u. REICH (1870) wieder abgedruckt worden, zugleich mit der leider sehr wenig instruktiven Zeichnung der beiden Sehnerven.

Von den anderen citirten Beobachtungen [1]) kann ich in der von PROCHASKA herrührenden einen analogen Befund nicht erkennen, da hier nur die Nichtvereinigung der Sehnerven der (abnormen) Verschmelzung der beiden *Olfactorii*

---

1) J. F. MECKEL, Handb. d. path. Anat. I. Bd p. 398.

gegenüber hervorgehoben ist.[1]) Klein, dessen Beschreibung mir nicht zugänglich war, sowie Nicolaus de Janaua sahen die Sehnerven ohne Verbindung, jeden in das *Foramen opt.* seiner Seite verlaufen: jener bemerkt dabei ihre röthliche Farbe, und den rudimentären Zustand des betreffenden Gehirns.

Von den so mannigfaltigen Anomalien, welche die Sehnervenpapille bei angeborner Amblyopie und Amaurose bietet, für welche aber fast überall der anatomische Nachweis noch fehlt[2]), und welche daher einstweilen mehr als Objekte der Ophthalmoscopie aufgeführt werden müssen, soll nur eine hier wenigstens erwähnt werden, wenn auch für sie die nähere Beschreibung in einem anderen Kapitel gegeben werden muss: ich meine die markhaltigen Nervenfasern in der Retina.

In seltenen Fällen behält eine Anzahl Opticusfasern bei ihrem Durchtritt durch die *Lamina cribrosa* die Markscheide bei, und erscheint so in der Retina mit derselben weichen, glänzend weissen Farbe, wie im extrabulbären Sehnerven. Ob diese markhaltigen Fasern, welche gewöhnlich in Büscheln beisammenliegen und flammenartige Ansätze an die Papille bilden, erst in der Nähe ihrer Endigung, oder schon vorher in der Opticusfaserschicht selbst ihr Mark verlieren, ist meines Wissens nicht bekannt. Es bietet diese Anomalie neben dem besondern physiologischen Interesse auch eine interessante Aehnlichkeit mit einigen Thieren, bei welchen, wie z. B. beim Kaninchen, markhaltige Fasern in der Retina regelmässig und in ganz bestimmter Anordnung vorkommen.

Von allen oben beschriebenen angeborenen Anomalien im Gebiete des Sehnerven sind offenbar nur die beiden letzterwähnten als eigentliche Bildungsfehler anzusehen, während die anderen nur die Resultate von Zerstörungen darstellen, welche jene Organe während des Fötallebens direkt oder indirekt getroffen haben. Freilich mögen diese Resultate verschieden sein, je nach dem Entwicklungsstadium, in welchem die zerstörenden Einflüsse eingewirkt haben, und so haben wir entweder einfach atrophische Formen vor uns, wie sie ebenso im späteren Leben sich entwickeln, oder Unterbrechungen gewisser histologischer Umbildungsprocesse, welche dann einer ohngefähr normalen anatomischen Form eine anomale Struktur verleihen. Jene einfach atrophischen Veränderungen der Sehnerven nehmen nun ihren Ausgangspunkt entweder von der Peripherie im Auge oder an irgend einem Punkt des intracraniellen Verlaufs des Opticus, oder eigentlich central, in der Nähe seiner Wurzeln: die Atrophie kann also eine ascendirende oder eine descendirende gewesen sein, sie kann aber bei beiden Richtungen an irgend einem Punkte Halt machen. Für jene bietet uns der Anophthalmus das häufigste Beispiel, für die descendirende der defecte Sehnerv bei Hydrocephalus und Anencephalus, wie überhaupt bei mangelhaft entwickeltem Gehirn. Dass bei letzterer Missbildung nicht häufiger völliger Mangel des Opticus beobachtet wird, mag wohl daran liegen, dass bei den vorausgehenden Destructionen des Grosshirns am häufigsten die grossen Ganglien der Basis erhalten bleiben. Wie schon die Effekte solcher cerebraler Zerstörungen für die einzelnen Theile des Gehirns verschieden ausfallen, so auch für die von ihm aus-

[1]) Duos nervos opt. sua foramina ingredientes non-conjunctos: vorher steht: Unicus nervus olfactorius solito durior apparuit.
Annot. academ. Fasc. III p. 175.

[2]) Vergl. dar. Leber: Graefe's Arch. XV. Bd. 3. S. 1. u. XVII. B. 1. S. 314 u. ff.

tretenden Nerven, und gerade für den Sehnerven ergeben die bei hirnlosen Missgeburten vorgenommenen Untersuchungen eine Ausnahmsstellung, welche vielleicht auch vom Olfactorius (und Acusticus?) getheilt wird. Wie man auch die Ausbildung der Sehnervenfasern sich vorstellen mag, ob mit His als ein Herüberwachsen aus dem Gehirn in einen nicht nervösen Augenstiel, oder mit Lieberkühn als eine Entstehung in loco d. h. im Sehnerven selbst an jeder Stelle seines Verlaufs, aus den ihm angehörenden Zellen, so wird eben die ursprüngliche Verbindung der ersten Augenanlage mit dem Gehirn doch nie vollständig gelöst sein, und so auch der Zustand des letztern auf die histologische Ausbildung des Sehnerven immer einen Einfluss ausüben können. Von welcher Natur dieser Einfluss ist, in welcher besonderen Beziehung er sich geltend macht, sind wir allerdings nicht im Stande anzugeben. Hat man dabei früher an eine vom Centrum nach der Peripherie fortschreitende Nervenmarkbildung gedacht, so sind dieser Auffassung die neuesten Ranvier'schen Entdeckungen über die Zusammensetzung der Nervenfasern sammt Markscheide aus einzelnen Stücken, für welche mich selbst manche Befunde im Fötusauge sehr eingenommen haben, wenig günstig, und es wäre also immerhin möglich, dass wir auch im Sehnerven der hirnlosen Missgeburten nur das Produkt einer nachträglichen Zerstörung vor uns hätten, obschon mir das immer noch wenig wahrscheinlich dünkt.

Einen Factor aber, den man so oft für eine Atrophie von cerebrospinalen Nerven, und besonders gern für den Opticus verantwortlich gemacht hat, müssen wir hier völlig eliminiren, d. i. die Functionsstörung. Abgesehen davon, dass von einer »Function« des Sehnerven während des intrauterinen Lebens nicht die Rede sein kann, weisen uns die in neuerer Zeit immer häufiger werdenden anatomischen Befunde bei angeborener Blindheit mit Bestimmheit darauf hin, dass die mangelnde Sehfunction eine bekannte histologische Anomalie im Opticus nicht voraussetzt. Leber hat besonders darauf hingewiesen, und ich hatte selbst erst neulich Gelegenheit mich davon zu überzeugen, dass im Sehnerven von Blindgeborenen die markhaltigen Fasern nicht mangeln, und auch während eines langen Lebens nicht zu Grunde gehen müssen. Wir sind daher, zur Erklärung der angebornen Atrophie jenes Nerven auf eine andere Quelle der Bildungshemmung oder nachträglicher Zerstörung hingewiesen, und werden diese wohl am nächsten im Gefässsystem zu suchen haben. Wir werden bei den angeborenen Missbildungen spec. den atrophischen des Bulbus Gelegenheit haben, auf den unheilvollen Einfluss, welchen die fötalen Blutgefässe auf die Entwicklung jenes haben können, hinzuweisen, und müssen uns hier darauf beschränken, ohne jene ursprüngliche Störung in der Ernährung näher präcisiren zu können, auf die gemeinschaftliche Gefässanlage, wie sie für das ganze Sehorgan anfangs vorliegt, zu einer Zeit, wo von einem »nervösen« Einfluss wohl noch nicht gesprochen werden kann, einfach hinzudeuten.

Angeborene Anomalien der Augenlider.

§ 21. Mangel der Augenlider. Die Augenlider sind nicht so gar selten der Sitz von wirklichen Missbildungen, wenn wir auch von denjenigen besonderen Bildungen derselben absehen, welche zur Herstellung gewisser physiognomischer Eigenthümlichkeiten beitragen, wie wir sie bei einzelnen Individuen, wie auch bei

einigen Volksstämmen, resp. Racen vertreten finden. Insbesondere tritt eine defective Entwicklung derselben in verschiedener Art auf, welche man unter dem Namen der *Ablepharia totalis* und *partialis* zusammengestellt hat; jede dieser beiden Gruppen schliesst wieder zwei verschiedene Formen in sich: so kann der vollständige Lidmangel darin bestehen, dass nur die Lider fehlen, oder dass auch die Lidspalte nicht vorhanden ist. Jene Form lässt die ganze ausserhalb der Orbita stehende Bulbusoberfläche frei, stellt so den höchsten Grad des Lagophthalmus dar, in der anderen ist von dem Bulbus gar nichts äusserlich sichtbar, die äussere Haut zieht ohne Unterbrechung über denselben hin, ein Zustand, dem ich den Namen Kryptophthalmus gegeben habe. Diese beiden, von einander so verschiedenen Bildungsfehler sind bis jetzt übrigens nur als grosse Seltenheiten beobachtet worden.

Abgesehen von den Missgeburten, welchen bei einem völlig mangelnden oder wenigstens sehr verkümmerten Gesicht auch die Augenlider fehlen (Aprosopa), ist der Mangel der letzteren einigemale zugleich mit dem der Augen, seltener ohne einen solchen beobachtet worden, so in einem Falle von FRIDERICI (89), wo aber nach CORNAZ (3 p. 44) die Bulbi von kleinen Hautwulsten umgeben waren, die doch wohl als rudimentäre Lider zu betrachten sind, und so den Uebergang zu der einen Form der partiellen Ablepharie oder Mikroblepharie bilden. Von letzterer hat auch SEILER (83 p. 7) einen hochgradigen Fall beschrieben, in welchem ein sehr prominenter Bulbus von einer circulären kaum 5 Mm. hohen Hautfalte umgeben war; die Breite der Lidspalte betrug 24 Mm.

Interessanter ist die andere Form der lokalen Ablepharie, welche oben als Kryptophthalmus bezeichnet worden ist, und von der bis jetzt mehrere Beispiele bekannt sind, in welchen auch die Augen und Orbitae fehlten, nur eines aber, in dem die Bulbi, wenn auch unregelmässig gebildet, vorhanden waren. Jene Complication von Kryptophthalmus mit Anophthalmus, bei welcher die Haut von der Stirn über eine leere Augenhöhle, oder über den an deren Stelle befindlichen Gesichtstheil zur Wange herunterzog, wurde von VICQ D'AZYR, SPRENGEL und RUDOLFI beobachtet (90 p. 145). In einem dahin gehörigen aus der Dresdner Sammlung stammenden Monstrum, welches SEILER (83 p. 7) beschrieben hat, war ein grosser Wolfsrachen vorhanden, die Augen mit allen Adnexa fehlten, Schädel und Gehirn waren sehr unvollkommen entwickelt, von letzterem nur einige Theile an der Basis, und sehr rudimentäre Hemisphären vorhanden, ebenso Sehhügel und Vierhügel sammt den Tractus opt. bis zum Chiasma. Letzteres stellt somit den Befund dar, wie er bei Anophthalmus öfter getroffen worden ist. (S. unten.) Während so in allen diesen Fällen grössere Störungen in Ausbildung verschiedener Kopftheile vorhanden waren, welche zum Theil wenigstens mit der in Rede stehenden Missbildung offenbar in einem causalen Verhältniss standen, so namentlich die Anophthalmie, fanden sich in einem von ZEHENDER (91) und mir beschriebenen Falle jene begleitenden Bildungsfehler nicht vor. Da derselbe bis jetzt Unicum ist, so mag mit einigen Worten darauf verwiesen werden. Derselbe betraf ein Kind weiblichen Geschlechts, welches 9 Monate lebte, und an Brechdurchfall starb. Ausser dem erwähnten Bildungsfehler und einigen weniger bedeutenden Abnormitäten an Fingern, Zehen und Genitalien sowie einer Nabelhernie, war dasselbe wohlgebildet, und verrieth sogar, auf dem rechten Auge wenigstens, deutliche quantitative Licht-

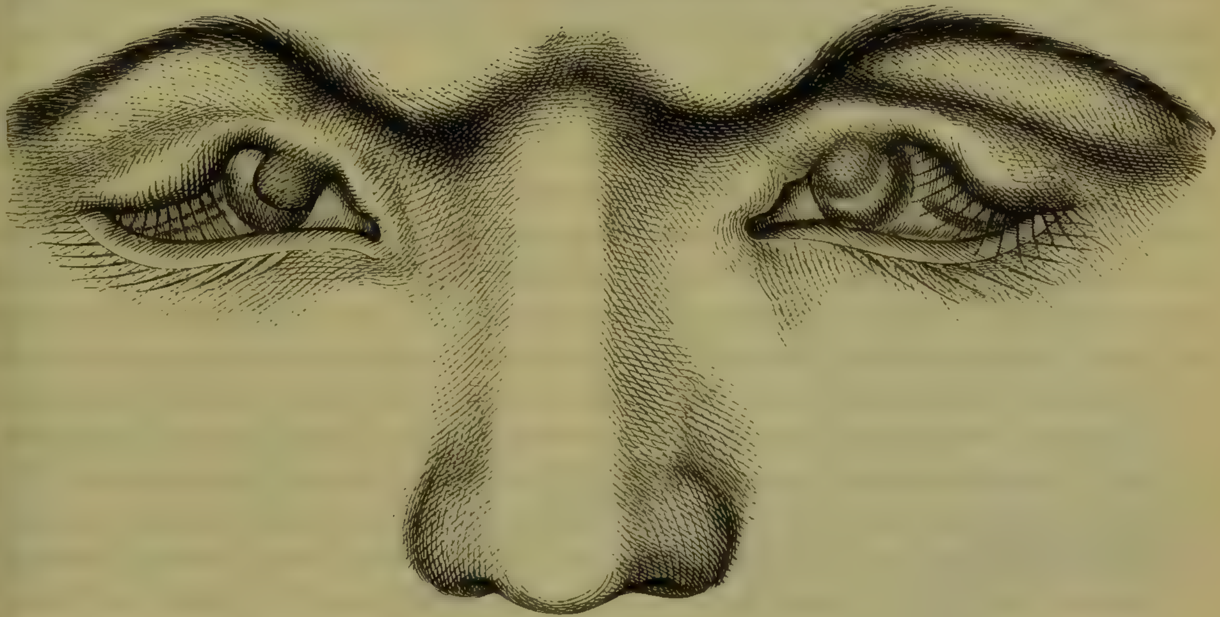
empfindung mit annähernd richtiger Projection. Die Augengegend markirte sich beiderseits durch eine kleine weiche Geschwulst, etwa dem äusseren Orbitalrand entsprechend, und eine seichte Quervertiefung, welche unter dem Einfluss einer grellen Beleuchtung durch Runzelung der Haut stärker hervortrat. Die Cutis war über den Bulbi verdünnt, mit der Oberfläche derselben durch Zellgewebe locker verwachsen, zeigte aber keine Spur einer Lidspalte. Der *Orbicularis palp.* war ziemlich gut entwickelt, sein oberer und unterer Rand stiessen beinahe zusammen. Der vordere Theil des Bulbus, zu einer grossen Blase ausgedehnt, enthielt im rechten Auge wenigstens ebenso, wie die hintere Abtheilung desselben, Glaskörper, die Iris fehlte, an ihrer Stelle lag ein aus zertrümmerten Linsenbestandtheilen bestehendes durchlöchertes Septum, die anderen Theile des Auges waren normal, während der linke Bulbus in hohem Grade zusammengeschrumpft war; auch an der Retina (der rechten) und beiden Opticis wurde nichts Abnormes gefunden. Die hier bestehenden Veränderungen des Bulbus sind solche, dass sie keiner sonst bekannten Missbildung zugerechnet werden können, und jedenfalls im Inneren des Auges vor sich gehenden pathologischen Veränderungen zuzuschreiben, können aber zu dem Liddefect in kein bestimmtes Verhältniss gesetzt werden: auch für sie findet sich nur in einem von Miram (92) an einem blindgeborenen Füllen beobachteten Falle eine entfernte Analogie.

Jedenfalls handelt es sich nicht um eine während des Fötallebens vollzogene Verwachsung der Lidränder unter sich, (Ankyloblepharon) oder der Lider mit dem Bulbus (Symblepharon cong.), sondern es ist die der Lidentwicklung zu Grunde liegende Hautfaltung hier ebenso unterblieben, wie in den von früher bekannten Fällen, in welchen schon der Bulbus selbst gar nicht oder nur sehr mangelhaft gebildet wurde. Ein für beide Zustände gemeinschaftliches Moment muss in einer früh unterbrochenen Ausdehnung der vorderen Bulbusabtheilung, vielleicht in einer frühzeitigen regressiven Metamorphose der Linse, durch welche jene lange Zeit hindurch gestützt ist, gesucht werden, ohne dass darüber jedoch zur Zeit eine bestimmte Ansicht geäussert werden könnte.

§ 22. Coloboma palpebrae. Zu dem partiellen Lidmangel wird auch das angeborene Colobom der Augenlider (Schizoblepharie) gerechnet, eine seltene Missbildung, von welcher in der Litteratur bis jetzt nur 12 Fälle verzeichnet sind. Dieselbe besteht in einer keilförmigen Spalte, deren Basis dem freien Lidrand entspricht, während die abgerundete Spitze des Keils gegen den Orbitalrand gerichtet ist. Wie die letztere sind auch die Uebergänge des Lidrandes in die Ränder der Spalte meistens abgerundet und häufig verdickt. Die Trennung betrifft die ganze Dicke des Lids, seine Höhe aber in verschiedenem Maasse. Gewöhnlich liegt jene ohngefähr in der Mitte des Lids, manchmal ist sie mehr gegen dessen mediales Ende gerückt. Die Ciliarreihe ist durch den Defect unterbrochen, nur an den Uebergangsecken sitzen meist noch einige Härchen, die Ränder der Spalte selbst besitzen keine, sondern sind von einem weichen röthlichen Saume eingefasst, der wie eine Fortsetzung oder ein Umschlag der Bindehaut sich darstellt, durch welchen dieselben mit der Bulbusoberfläche locker verbunden sind. Eine solche Verbindung ist nun aber in den meisten beobachteten Fällen noch durch ein besonderes Zwi-

schenstück ausgefüllt, von welchem in den früheren allerdings nicht besonders die Rede ist, welches aber in den neueren genau untersuchten, mit Ausnahme des von PFLÜGER (93) beschriebenen immer aufgefunden wurde. Seine Form ist eine verschiedene, und seine Breite so bedeutend, dass die von mehreren Autoren angegebene Vförmige Gestalt dadurch völlig verloren geht, indem die Spaltränder eine mehr weniger parallele Richtung bekommen. In dem Horner'schen (94) Falle, war dieses Schaltstück ein Hautklümpchen, mit langen weissen Cilien (?) besetzt, bei dem von O. BECKER (95) untersuchten und operirten Individuum war der fragliche Hautlappen sehr dick, halb so hoch als ein normales Lid, besass keine Wimpern, und wie die Untersuchung des exstirpirten Stücks erwies, keinen Tarsus, dagegen war er an seiner innern (untern) Fläche von Schleimhaut überzogen, welche auch seine Ränder einfasste; die obere Fläche war der Cutis ähnlich. Ein analoges Verhalten zeigte das doppelseitige Colobom, welches ich beschrieben habe (96): auch hier ging von dem oberen Rand der Spalte ein Hautstück aus, welches mehr und mehr den Charakter der Cutis

Fig. 7.



einbüssend, sich bis über den oberen Hornhautrand hinaus fortsetzte, und mit dieser Membran fest verwachsen war (s. beistehende Abbildung). In den von v. GRAEFE (97) und WECKER (98) publicirten Fällen lag zwischen den Schenkeln des Coloboms eine kleine Dermoidgeschwulst, welche dem Hornhautrand angehörte. Am meisten der Conjunctiva ähnlich fanden MAYER (99) und AMMON (100) das Mittelstück, und wahrscheinlich ebenso CUNIER (101), der angibt, dass nach Vereinigung der Spalte ein Symblepharon vorhanden gewesen sei. BEER (102) und HEYFELDER (103) erwähnen nichts von einem Schaltstück, dagegen fand der eine eine konische, der andere eine abgeplattete Hornhaut: also auch das waren jedenfalls keine »reinen« Fälle von Colobom. Als ein solcher könnte nun der neuestens von E. PFLÜGER (93) bekannt gemachte gelten, bei welchem am linken Unterlide ein grosser dreieckiger Defect nahe dem inneren Augenwinkel bestand, ohne dass auf der Bulbusoberfläche eine Abnormität vorhanden war: auch von einer etwaigen

Verbindung der die Spaltränder einsäumenden Bindehaut wird nichts erwähnt, dagegen war der ganze Cilien tragende Lidrand nach aussen verschoben; so auch der obere, dessen medialer Anfang der Mitte der Pupille gegenüber lag, während von dieser Stelle gegen den inneren Winkel hin in der Ausdehnung von 1 Cm. das Lid vertreten war durch eine Hautplatte, auf der Innenseite mit Bindehaut bekleidet, total aber des Knorpels und der Cilien entbehrend. Diese Hautplatte hatte eine dem Colobom des unteren Lides ähnliche Gestalt und Grösse; nach innen von demselben war noch ein schmales Stück Lid mit Knorpel, Thränenpunkt und 3 Cilien vorhanden. Der schlitzförmige Thränenpunkt führte in eine offene Rinne und diese in einen geschlossenen Blindsack (Thränensack). Für dieses obere Lid war also offenbar das in anderen Fällen vorhandene Mittelstück zu einer in die Continuität völlig aufgenommenen Hautbrücke umgewandelt, und dadurch das Colobom geschlossen.[1])

Was die Vertheilung des Letztern auf die Lider beider Augen betrifft, so ergeben die jetzt bekannten Fälle, dass es in der Regel dem oberen Lid angehört, nur in zweien (v. Graefe, Pflüger) war auch das untere Lid damit behaftet; in diesen betraf es die beiden Lider desselben Auges. Auf den beiden Oberlidern wurde es nur in einem Falle beobachtet (Manz), wobei auch die Gestalt der Spalte, sowie des darin liegenden Schaltstückes eine durchaus symmetrische war, wie umstehende Abbildung zeigt.

Während bei der besprochenen Missbildung die für manche andere nahe liegende Vermuthung, dass es sich um ein Product einer Fötalkrankheit handle, kaum in Betracht kommen kann, bietet uns doch die Entwicklungsgeschichte kaum einen Anhaltspunkt für ein Verständniss von ihrer Entstehung. Die Auffassung der älteren Autoren, dass es sich dabei um eine »Hemmungsbildung« handle, muss fallengelassen werden, da sich in der normalen Entwicklung kein Stadium findet, in welchem eine Zusammensetzung des Augenlides aus zwei seitlichen Hälften vorläge; ein Colobom kann also nicht ein Stehenbleiben auf einer früheren Entwicklungsstufe bedeuten. In neuerer Zeit hat De Wecker (98) den Versuch gemacht, die »Hemmungsbildung« in anderer Weise auf jenen Bildungsfehler anzuwenden, der mir jedoch nicht annehmbar erscheint. Dieser Autor meint, es handle sich um ein Ausbleiben der im normalen Wege stets erfolgenden Umbildung resp. Rückbildung der den Bulbus bedeckenden Haut (Cutis) zu Bindehaut, und stützt seine Ansicht auf die cutisartige Beschaffenheit des im Colobom liegenden Schaltstücks, welche auch den an dieser Stelle, gefundenen kleinen Tumoren zukomme. Die Spalte wäre also die Stelle, an welcher jene Rückbildung unterblieben sei aus einem nicht genauer zu bezeichnenden Grunde. Dem ist jedoch vor Allem entgegen zu halten, dass zu der Zeit, da die Bildung der Augenlider anhebt, die allgemeine Körperdecke überhaupt noch nicht den ausgesprochenen histologischen Charakter der Cutis angenommen hat, und dass der ausserhalb der Orbita liegende Theil des Auges zu keiner Zeit von einer Art Cutis überdeckt ist, somit von einer Rückbildung derselben in Bindehaut nicht die Rede sein kann, abgesehen davon, dass für eine solche rückschreitende Gewebsmetamorphose im Entwicklungsleben der Säugethiere auch sonst kein Beispiel bekannt ist.

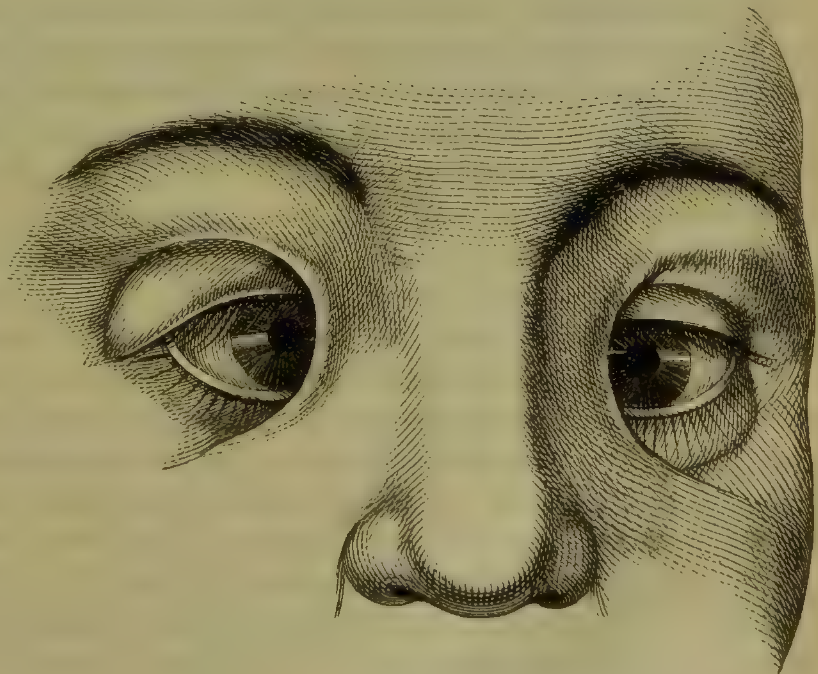
---

[1]) Vgl. auch den Fall von Seely (104).

Auch für die Auffassung eines partiellen congenitalen S y m b l e p h a r o n ist die Hemmungsbildung zurückzuweisen, da eine solche Verbindung zwischen Lidern und Bulbusoberfläche, wie schon v. Ammon gezeigt hat, normaler Weise niemals existirt. O. Beker hat für das Lidcolobom zuerst die Hemmungsbildung als unannehmbar erklärt, und sich für ein »*Vitium primae formationis*« entschieden. Wie De Weker von der cutisartigen Beschaffenheit des Schaltstückes und der dadurch vermittelten Verbindung mit dem Bulbus ausgehend, und dieselbe als eine abnorme Gewebsmetamorphose der jenen ursprünglich deckenden Haut (Kopfplatten) deutend, habe ich im Gegensatz zu jenem Autor diese als die primäre Störung aufgefasst, durch welche die Bildung einer vom Orbitalrand ausgehenden Hautduplicatur für diese Stelle verhindert werde. Statt einer unterbliebenen Rückbildung hätte man es also nach meiner Ansicht mit einer heterotopischen Gewebsmetamorphose zu thun, durch welche allerdings dann wieder eine weitere bestimmte Formation für diese Stelle g e h e m m t w i r d. Eine ganz unzweifelhafte Erklärung der Genese des Lidcoloboms werden wir aber wohl nicht aufstellen können, bevor uns das Schicksal der Augennasenfurche in seiner Beziehung zu den Lidern vollständig bekannt ist; auf eine solche Beziehung deuten aber gerade die zwei neuesten Fälle (Pflücer und Seely) sehr nachdrücklich hin.

§ 23. E p i c a n t h u s. Unter dem Namen E p i c a n t h u s beschrieb v. Ammon (105) eine eigenthümliche Missbildung im inneren Augenwinkel, welche nach seiner Auffassung auf einer excessiven Entwicklung der Haut an der Nasenwurzel beruht. Dieselbe, welche übrigens schon vor ihm Schön (106) gesehen und in seiner pathologischen Anatomie erwähnt hatte, besteht in einer Hautfalte, welche im inneren Augenwinkel vom oberen Lid auf das untere übergeht, und mit einem nach aussen (lateralwärts) concaven freien Rande die eigentliche Lidcommissur sowie die hier gelegene Carunkel und die Thränenpuncte, ja bei besonderer Breite noch eine grössere mediale Lidpartie deckt. Die Falte ist also eine Commissur der Lidhaut, nicht etwa der eigentlichen Lidränder, welche sich, ohne miteinander in abnorme Verbindung zu treten, in gewöhnlicher Weise frei unter die Falte verfolgen lassen. Ueberhaupt zeigt sich in Bezug auf die Constitution des medialen Canthus, Lage der Thränenpuncte, Carunkel keinerlei Anomalie.

Fig. 8.



n. v. Ammon (17) (III. Th. Taf. I. Fig. III.).

Die Falte ist eine einfache Hautduplikatur, welche mit der Haut des Nasenrückens in directer Verbindung steht, resp. von ihr ausgeht. Sie ist fast immer auf beiden Seiten vorhanden, jedenfalls ist dies die Regel, wenn auch schon Ammon selbst eine einseitige gefunden und abgebildet hat (35). Die Missbildung kann ganz oder zum grössten Theil zum Verschwinden gebracht werden, wenn man die Haut auf dem Nasenrücken in eine longitudinale Falte aufhebt, womit auch ein Fingerzeig für ihre operative Heilung gegeben war.

Wird nun ein solcher Epicanthus, sofern er beim erwachsenen Menschen vorkommt, mit Recht als eine Bildungsanomalie angesehen, so findet er sich doch bei ganz jungen Kindern, wenigstens in geringerem Grade so häufig, ja als Andeutung fast regelmässig, dass er hier eher für eine vorübergehende Bildungsstufe des Fötus genommen werden muss. Dass aber zwei dem äusseren Ansehen nach gleiche, wenn auch dem Grade nach verschiedene Erscheinungen nicht gleichwerthig sind, geht daraus hervor, dass mit dem Epicanthus des erwachsenen, oder wenigstens mehrjährigen Menschen sehr häufig noch andere Bildungsfehler am Auge verbunden sind, die bei dem transitorischen des Neugebornen fehlen. v. Ammon selbst hat auf das gleichzeitige Vorkommen von Epicanthus und Einwärtsschielen aufmerksam gemacht, und es ist diese Thatsache auch von Anderen bestätigt worden und wird in der That relativ häufig getroffen. Dieses Einwärtsschielen ist nicht etwa ein scheinbares, in der Verdeckung der medialen Skleralpartie begründetes, sondern ein wirklicher, manchmal aber nur einseitiger Strabismus, durch welchen die durch die Winkelfalte schon gegebene kosmetische Störung natürlich noch bedeutend verstärkt wird. Wenn in Bezug auf die letztere eine Vergleichung mit einem Kalmükengesicht angestellt worden ist, so ist das schon keine sehr treffende, entschieden unrichtig aber ist es, die Störung der Oeffnung der Lidspalte auf jene Hautfalte zurückzuführen. v. Ammon hat mit Recht die Verzerrungen des Gesichts hervorgehoben, welche entstehen wenn jener Akt forcirt werden soll. Die Ursache aber der an und für sich engen resp. niedrigen Lidspalte und der Schwierigkeit ihrer Oeffnung liegt nicht in jener Haut-Anomalie, sondern zunächst in einem Tiefstand des oberen Lids, der seinerseits wieder in einer Parese desselben seinen Grund hat. Jene Ptosis ist zwar ebenfalls von früheren Beobachtern schon bemerkt, das Vorkommen dieser und anderer Muskelparesen bei Epicanthus aber ist, soviel mir bekannt, erst von v. Graefe hervorgehoben worden, von dem jedoch auch keine gedruckte Mittheilung darüber vorliegt.

Eine genaue Analyse von mehreren ihm vorliegenden Fällen zeigte nicht nur eine beträchtliche Behinderung der Lidhebung, sondern auch nicht unbedeutende Beschränkungen der Bulbusbewegungen, insbesondere nach oben: aber auch nach anderen Richtungen sind die Excursionen beschränkt, so dass v. Graefe die Ansicht aussprach, das Wesentliche des in Rede stehenden Bildungsfehlers liege nicht in der abnormen Hautfalte, sondern in einer Insufficienz einiger Zweige des Oculomotorius, am häufigsten der zum *Levator* und *Rectus sup.* gehenden. Wird diese Anschauung, dass es sich hier um nervöse Störungen, ihrerseits möglicherweise wieder in gröberen anatomischen Anomalien begründete handelt, adoptirt, so wird uns die, wie es scheint, gerade am häufigsten vorkommende Complication des *Strabismus convergens* nöthigen, auch den *Nerv. abducens* in den Kreis jener Paresen hereinzuziehen — ausserdem ist aber damit

die Entstehung des Epicanthus selbst nicht zu erklären. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass für alle diese Anomalien eine gemeinschaftliche Ursache im Bau und der Entwicklung der betreffenden Theile des Gesichtsskeletts liegt, es ist aber eine solche anatomisch bis jetzt nicht nachgewiesen. Eine niedrige Nasenwurzel kann wohl die Unterlage für einen vorübergehenden oder auch bleibenden Hautüberschuss an dieser Stelle geben, es könnte auch ein besonders geringer Abstand der Orbitae unterstützend einwirken, wie vermuthet worden ist, aber einmal ist letzterer nicht durch Messungen bestimmt, und dann kommt doch ein niedriger Nasenrücken so gar häufig, der Epicanthus doch gar zu selten vor, als dass man nicht nach einer entfernteren Ursache suchen dürfte; am wenigsten ist wohl an einen einfachen Hautluxus an der betreffenden Stelle zu denken. Von andern Complicationen werden von Wecker (107 p. 619) Mikrophthalmus und »*tumeurs lacrymales*« namhaft gemacht. Das oben Gesagte gilt nur für den Epicanthus am innern Augenwinkel; einige Beobachter wollen nun auch eine analoge Hautfalte am temporalen Winkel beobachtet haben, die als *Epicanthus externus* bezeichnet wird. Die Analogie dieser Fälle mit den obigen scheint jedoch nicht ausser allem Zweifel, und ich lasse darum die Hauptpuncte der vorliegenden Beschreibungen wörtlich folgen:

Sichel (108) fand die Missbildung bei einem 39jährigen, amblyopischen Geistlichen auf beiden Augen, doch links in höherem Grade.

»De ce coté, en effet, la commissure était entièrement recouverte par un pli valvulaire sémilunaire vertical, ayant un peu plus d'un centimètre de haut, s'avançant de dehors en dedans et absolument analogue mais en sens inverse, a celui qui, dans l'épicanthus congénial ordinaire, recouvre le grand angle de l'oeil et la caroncule lacrymale.« Der vorhandene *Strabismus diverg.* des linken Auges wird vom Berichterstatter der gleichzeitig bestehenden Amblyopie zugeschrieben. Gegenüber der Behauptung des Patienten, dass sich bei ihm die Missbildung wohl vor ungefähr 20 Jahren entwickelt habe, also um dieselbe Zeit, da auch sein Augenlicht abzunehmen begann, hält Sichel jene für angeboren, und nur etwas mit den Jahren wachsend, und darum erst später vom Patienten bemerkt.

Der zweite Fall von *Epicanthus externus* wird von Chevillon (109) berichtet. Hier bestand zwischen dem oberen und unteren Lidrand beider Augen eine häutige Brücke, welche das äussere Drittheil der Lidspalte deckte; die Lidknorpel erstreckten sich nur bis an den freien Rand der Commissur, ebenso die Cilien. Wurde das Auge geschlossen, so verschwand die Membran, und es zeigte sich äusserlich an ihrer Stelle nur eine kurze Furche; jene hatte die weisse Farbe und das Aussehen der *Conjunctiva bulbi* (*Membrane muqueuse sclèroticale*), wenigstens gegen ihren freien Rand hin, lateralwärts ging dieselbe in die äussere Haut über.

Ueber die Häufigkeit des Vorkommens des Epicanthus lässt sich nach den seither darüber bekannt gewordenen Erfahrungen nur sagen, dass die höheren Grade desselben ziemlich selten sind, da man die Kalmükenaugen nicht einrechnen darf; in geringer Entwicklung findet sich derselbe jedoch insbesondere bei Kindern in den ersten Lebensjahren ziemlich häufig. Ob hereditäre Momente dabei vorkommen, ist nicht bekannt; als eine Andeutung davon mag das Vor-

kommen bei 5 Geschwistern gelten, welche ich auf der v. Graefe'schen Klinik zu sehen Gelegenheit hatte; die fünf anderen Kinder derselben Eltern waren davon frei; bei jenen dagegen die Missbildung in verschiedenem, bei einigen in sehr hohem Grade vorhanden, der Anblick der ganzen Gruppe ein hochkomischer.

§ 24. Symblepharon, Ankyloblepharon, Ptosis palpebrae. Von den übrigen als Missbildungen aufgeführten Abnormitäten an den Augenlidern sind einige seltenere oder gewöhnliche Begleiter anderer Bildungsfehler des Auges und darum theils schon oben erwähnt worden, theils wird ihrer im Folgenden gedacht werden, wie die Verdopplung der Lider oder eines derselben bei Cyclopie, das Entropium und die Mikroblepharie beim Anophthalmus und Mikrophthalmus u. a. Bei einigen anderen ist der teratologische Charakter mindestens zweifelhaft, und sind dieselben auch schon früher von mehreren Seiten als Producte fötaler Entzündungen aufgefasst worden. Dahin gehört vor Allem das *Symblepharon* und *Ankyloblepharon congen.* Dass jenes nicht eine einfache Hemmungsbildung vorstellt, ist oben schon gezeigt worden, ausserdem sind die seltenen Fälle, welche als eine solche Missbildung beschrieben wurden (Roquetta, Riberi u. A.) doch nicht so genau untersucht, dass nicht der schon v. Ammon und Seiler erhobene Zweifel gerechtfertigt wäre, ob es sich hier nicht um pathologische Zustände im engeren Sinne gehandelt habe. Doch ist auch, wie uns das *Coloboma palp.* lehrt, die Entwicklung einer Adhärenz zwischen Lider und Bulbus möglich zu einer Zeit, wo eben die Lidbildung erst im Beginne ist, und noch nicht zwei Schleimhautflächen einander begegnen. Eine solche Verbindung kann dann später, wenn die Augenmuskeln zur Function kommen, in der verschiedensten Weise modificirt und theilweise wieder zerstört werden. Handelt es sich dabei um einen missbildeten, atrophischen Bulbus, so wird natürlich auch dessen Verkleinerung und Formveränderung den Zusammenhang mit der Conjunctiva und den Lidern in verschiedener Weise beeinflussen. Ein Fall eines totalen angeborenen Symblepharon ist bis jetzt nicht mit Sicherheit beobachtet, dafür wäre nur der Kryptophthalmus ein Beispiel, bei welchem anzunehmen, dass ein ursprünglicher Ueberzug des Auges sich in seiner ganzen Ausdehnung zu Cutis metamorphosirt hätte; dabei ist dann aber die der Blepharogenese zu Grunde liegende Faltung unterblieben.

Die Verwachsung der einander gegenüberliegenden Lidränder: Ankyloblepharon, ist bei Neugeborenen in verschiedener Form gesehen worden. Eine totale oder fast totale Verschmelzung finden wir in vielen Fällen von Anophthalmus erwähnt, wobei die kleine Oeffnung, wenn eine solche vorhanden war, im innern Augenwinkel lag. Eine theilweise Verbindung vom äussern Winkel aus, welche als Blepharophimosis sich darstellt, begleitet gewöhnlich einen verkleinerten Augapfel. Im Ganzen ist übrigens das Ankyloblepharon, namentlich das totale seltener aufgefunden worden, als man nach den Ergebnissen der Entwicklungsgeschichte erwarten sollte. Im äussern Augenwinkel hatte die Verbindung zwischen den beiden Lidern in einigen seltenen Fällen (v. Ammon) eine so bedeutende Breite, dass dieselbe den Eindruck eines (vierten) Augenlids machte. Eine anatomische Untersuchung einer angeborenen

Lidrandverwachsung besitzen wir nicht, wissen also nicht genau von welcher Natur die Narbe gewesen ist.

Während die Mehrzahl der Beobachter in dem Ankyloblepharon ein Stehenbleiben auf einem früheren, im menschlichen Embryo bald vorübergehenden Stadium sahen, haben wenige Andere (darunter Beer, Seiler) dasselbe als Product einer fötalen Ophthalmie aufgefasst. Wenn die letztere Annahme auch nicht ganz bei Seite geschoben werden kann, so liegt doch nach dem was uns Schweigger-Seidel (l. c. C. V § 28) über die histologische Natur jener normalen embryonalen Lidverbindung gelehrt hat, die viel näher, dass aus einer vorübergehenden wenig innigen Verbindung eine festere, bleibende Organisation hervorgehe, welche dann der Muskelzug nicht zu lösen im Stande ist. Dass auf die Aufhebung jener (normalen) Verschmelzung auch der von rückwärts andrängende Bulbus besonderen Einfluss ausübt, zeigt uns gerade das häufige Vorkommen jener fraglichen Missbildung bei Atrophie des Bulbus, bei welcher eben jene Vis a tergo fehlt.

Eine nicht seltene, meistens aber auch in Verbindung mit anderen vorkommende Missbildung ist die angeborene Ptosis des oberen Augenlids (*Blepharoptosis congen.*), eine Abnormität, welche für die Function des Auges sehr häufig, kosmetisch aber immer sehr störend ist, und deshalb schon zu verschiedenen therapeutischen Unternehmungen Veranlassung gegeben hat. Der Erfolg der letzteren, der meistens immer doch nur ein theilweiser blieb, ist ein verschiedener, schon weil jener Missbildung verschiedene anatomische Verhältnisse zu Grunde liegen. Sehen wir von den Fällen ab, wo die Hebung des Oberlids gehindert ist, weil eine zu enge Lidspalte vorhanden oder weil bei mangelndem oder verkümmertem Bulbus die Functionsrichtung des Lidhebers ungünstiger geworden ist, so bleiben zwei Gruppen von Blepharoptosis, von welchen das Uebel in der einen einem Hautüberschuss zugeschrieben wird, welcher in den anderen Fällen fehlt. Die Litteratur enthält mehrere Beispiele, in welchen ein solcher Ueberschuss der Lidhaut, vorhanden war, so dass dieselbe über das untere Lid herunter hing (v. Ammon, Seiler, Fichte l. c.). Die Haut war dabei wirklich hypertrophisch wie auch das Unterhautzellgewebe, was sich deutlich zeigte, wenn sie in eine Querfalte gefasst wurde, wobei dann die Hebung des Lids bis zur völligen Entblössung der Hornhaut möglich wurde, was bei einer paralytischen Ptosis nicht der Fall ist. Zu der letzteren Art scheint aber die Mehrzahl der angeborenen Fälle zu gehören, und zwar liegt hier der Grund der Lidsenkung in einer mangelhaften Entwicklung des *Levator palp.* oder in einer Parese dieses Muskels; der Grad der Ptosis ist übrigens dabei gewöhnlich ein mittlerer.

Wie erwähnt, findet sich dieser Bildungsfehler häufig in Gesellschaft anderer, ist namentlich bei Epicanthus fast immer vorhanden; meistens auf beiden, seltener auf einem Auge. Ausserdem ist die angeborene Ptosis in einzelnen Familien erblich gefunden worden, oder wenigstens bei mehreren Geschwistern, ein Umstand, der besonders gegen ein zufälliges Entstehen derselben etwa während der Geburt spricht. Doch ist eine solche Heridität, wie es scheint, immerhin eine Seltenheit, und so lässt sich für die anderen, aber doch wohl auch nur für die monolateralen Fälle letztere Entstehung, die von verschiedenen Seiten

angenommen worden ist, nicht gerade abweisen. Man denkt sich dabei die Parese des Lidhebers durch einen Druck herbeigeführt, welchen auf denselben der Beckenrand, oder auch ein unglücklich angelegter Zangenlöffel ausgeübt hat. Sollte nun eine solche Ursache nicht vorliegen, so müssten wir, da eine isolirte Lähmung des den Muskel versorgenden Oculomotoriusastes nicht anzunehmen ist, eine mangelhafte Entwicklung des letzteren voraussetzen, ohne über die Ursache einer solchen eine Vorstellung zu haben. Dass es sich dabei nicht um ein primäres Uebergewicht des *Orbicularis palp.* handeln kann, zeigt die Configuration der Lidspalte.

Während naturgemäss das Entropium einem verkleinerten Bulbus zukommt, findet sich das angeborene Ectropium mehr bei Vergrösserungen desselben, wie Buphthalmus, *Megalocornea*, und zwar meistens am untern Lid, als eine übrigens seltene Missbildung. v. Ammon (55), welcher einen solchen Fall abbildet (l. c. Tab. I. Fig. 7), fand sie übrigens zusammen mit Mikrophthalmus und Blepharophimose, und erklärt sich für ihre pathologische Natur. Von Blasius und Fleischmann (3 p. 52) werden zwei analoge Fälle als *Ectopia tarsi* beschrieben, in welchen dem Ectropium eine Art Ablösung des Tarsus von dem übrigen Lid zu Grunde lag, wodurch zwischen letzterem und Bulbus gleichsam ein zweites Lid gebildet wurde.

Eine schräge Stellung der Lidspalte, wobei deren laterales Ende höher steht (Aëluropsis Fichte), eine Eigenthümlichkeit der mongolischen Völkerstämme, kommt nicht selten in Begleitung gewisser Bildungsfehler des Auges selbst vor, und wurde insbesondere von Gescheidt mit dem *Coloboma oculi* in Verbindung gebracht, indem er sie durch eine unvollständige Drehung des Bulbus zu Stande kommen lässt. v. Ammon (55) fand die katzenähnliche Stellung der Lidspalte fast immer in Gesellschaft von *Strabismus convergens*, einigemal war dabei auch ein ungleich hoher Stand des Auges selbst vorhanden (einige Fig. der Taf. II.).

Eine besonders reichliche Entwicklung der Augenbrauen, wobei dieselben an der Nasenwurzel zusammenstossen, wird von demselben Autor als Synophrys beschrieben.

§ 25. Strabismus congenitus. Zu den angeborenen Augenkrankheiten wurde früher als eine besonders häufige das Schielen gezählt. Genauere Beobachtung hat jedoch gelehrt, dass dasselbe mindestens sehr selten angeboren ist, im Gegentheil fast immer erst nach der Geburt sich ausbildet. Unter den Ursachen desselben mögen allerdings gewisse Gleichgewichtsstörungen der äusseren Augenmuskeln häufig genug angeboren sein. Es kann sich hierbei sowohl um ein abnormes Verhältniss der Länge und des Querschnitts als auch der Insertion derselben handeln, auf Grund dessen dann später unter dem Einfluss des Sehacts sich eine bleibende Ablenkung entwickelt. Man hat auch mit Unrecht behauptet, dass den Neugeborenen gewissermassen als Regel ein *Strabismus convergens* zukomme: daran ist nur richtig, dass die Augenaxen, welche in den früheren Fötalmonaten nach vorn divergiren, später in eine mehr und mehr parallele Stellung kommen, doch ist dabei zu berücksichtigen, dass zu jener Zeit der innere Augenwinkel noch ausserordentlich geräumig ist, so dass die Cornea schon um deswillen nicht in der Mitte der Lidspalte liegt.

Von den eben erwähnten Anomalien der äusseren Augenmuskeln scheint die abnorme Insertion noch am häufigsten vorzukommen, wie insbesondere Erfahrungen bei der Schieloperation gezeigt haben (Dieffenbach 119 p. 98). Der *Rectus internus* namentlich setzt sich nicht selten in besonders grosser, selten in geringerer Entfernung vom Hornhautrand an; auch eine Verschiebung der Insertion nach auf- oder abwärts kommt bei diesem Muskel nicht selten vor. Dagegen wird das völlige Fehlen eines oder mehrer Muskeln bei sonst normalen Verhältnissen äusserst selten beobachtet (Wilde 150 p. 37); wir finden im Gegentheil die Muskulatur des Auges selbst dann in voller und regelmässiger Ausbildung, wenn dieses selbst in mehr oder minderem Grade verkümmert ist, wie das beim Anophthalmus der Fall ist.

Auch überzählige Muskeln sind nach Dieffenbach noch nicht gefunden worden; in einem Falle bemerkte er eine Bifurcation des *Rectus internus* mit *Strabismus convergens,* wobei dieser Muskel in zwei gleich starke Bäuche getrennt mit zwei Sehnen an den Bulbus sich ansetzte.

§ 26. Angeborne Krankheiten der Thränenorgane. Von den angebornen Anomalien der Thränenorgane wird das Fehlen derselben, sowie speciell der Thränendrüse schon frühe gelegentlich erwähnt, wobei sich zeigte, dass in der Mehrzahl der Fälle trotz des mangelnden Augapfels (s. Anophthalmus) jene Organe vorhanden waren. In einem Falle (Weidele 3 p. 24) hatte die Thränendrüse sogar die Stelle des fehlenden Bulbus eingenommen. Nicht sehr selten sind Geschwülste, welche mit jener Drüse in Zusammenhang angeboren vorkommen. Dieselben stellen entweder eine einfache Hypertrophie derselben, oder ein Adenom vor, sollen manchmal auch cystöse Ectasien ihrer Ausführungsgänge sein, wobei die Geschwulst dann im Oberlid selbst ihren Sitz hat (Benedict).

Viel häufiger sind kleine Abnormitäten der Thränenableitungswege insbesondere der Thränenröhrchen und Thränenpunkte. Letztere wurden einigemal durch eine feine Membran verschlossen gefunden, wobei das Thränencanälchen sich als permeabel erwies. Sehr selten ist der völlige Mangel der Thränenwege, doch sind einige Fälle davon beschrieben (Carron de Villards, Otto, Travers 3 p. 26). Doppelte Thränenpunkte sind gerade keine grosse Seltenheit, doch zeigen die Canälchen dabei ein verschiedenes Verhalten. Manchmal führt jeder Thränenpunkt in ein besonderes Canälchen, welches in den Sack mündet oder auch blind endigt, oder, wie ich erst vor kurzem sah, die beiden Oeffnungen, von denen die eine gewöhnlich eine mehr schlitzförmige Gestalt hat, liegen hintereinander, als zwei Mündungen desselben Canälchens.

Ob eine Fistel des Thränensackes angeboren vorkommt, mag noch zweifelhaft sein, doch lässt sich die Möglichkeit des Vorkommens dieser Missbildung als eines stellenweisen Offenbleibens der Augennasenfurche nicht bestreiten, und würde als Hemmungsbildung anzusehen sein. Beyer will den vollständigen Mangel des Thränensacks beobachtet haben.

Angeborene Farbenanomalien des Auges.

§ 27. Albinismus. Am Auge, als dem am reichsten pigmentirten Organ des menschlichen Körpers, tritt ein allgemeiner Pigmentmangel am auffallendsten hervor, weshalb auch der Albinismus gewöhnlich unter den angeborenen Augenkrankheiten abgehandelt wird. Da aber das Auge nur eine von den verschiedenen Localitäten ist, in welchen jener allgemeine, angeborene Defect zur Erscheinung kommt, so werden wir unsere Beschreibung hier auf diejenigen Veränderungen beschränken, welche derselbe an jenem Organ veranlasst, die allgemeine Darstellung des Albinismus, seine ethnographischen und ätiologischen Beziehungen dagegen der allgemeinen pathologischen Anatomie überlassen, welcher jene Missbildung in ihrem Gesammtbild angehört. In Bezug auf jene Verhältnisse, wie auch auf die ältere und neuere Literatur verweisen wir auf die ziemlich ausführliche Zusammenstellung in Seiler's schon mehrmals citirten Werke p. 44 u. ff.

Die schon von Geoffroy St. Hilaire herstammende Eintheilung der Leucose (Weisssucht) in eine *L. perfecta*, *imperfecta* und *partialis* lässt sich auch auf das Auge anwenden, indem jene zwei ersten Klassen verschiedene Grade des Pigmentmangels, die letzte eine besondere räumliche Beschränkung desselben in den einzelnen Theilen jenes Organs bezeichnen. Von den Nebenorganen und Schutzorganen desselben nehmen die Wimpern und Augenbrauen, sowie die Lider in gleichem Maasse an den Veränderungen Theil, welche der Haut und den Haaren überhaupt bei den Kakerlaken zufallen. Bei den hohen Graden des Albinismus sind jene ganz farblos, aber doch nicht weiss, wie das Greisenhaar, meistens besonders fein, obschon man auch ziemlich derbe Cilien sehen kann; häufig haben dieselben eine schwache gelbliche Farbe und nähern sich so der blonden Behaarung. Der Gesammtausdruck des Kakerlakengesichts ist vorzüglich der der Lichtscheu: der Kopf ist meist etwas gesenkt, die Augen fast oder ganz geschlossen, die sehr dünne, röthlich durchschimmernde Lidhaut durch die energische Zusammenziehungen des Orbicularis meist gefaltet, und schon bei gewöhnlichem Tageslicht in zitternder Bewegung. Wird das Auge geöffnet, so zeigt sich die Lidbindehaut gewöhnlich etwas hyperämisch, die des Bulbus von einigen Gefässen durchzogen, und unter ihr eine dünne Sklera, welche aber hier nicht wie sonst in diesem Zustande einen bläulichen, sondern einen röthlichen Ton hat, da eben kein Pigment, sondern nur der Inhalt der Blutgefässe der Choroidea durchschimmert.

Von der Hornhaut wird angegeben, dass dieselbe stärker gekrümmt sei, ohne dass aber eine genauere Messung vorgenommen wäre. Es bleibt also die Vermuthung bestehen, dass jene stärkere Wölbung nur eine scheinbare, durch die eigenthümliche Färbung der Iris vorgetäuschte gewesen sei; ich selbst habe wenigstens in 3 Fällen, die ich beobachten konnte, jene Anomalien nicht finden können.

Am auffallendsten ist das Aussehen der Iris theils in Betreff ihrer Farbe theils ihrer Structur.

Jene wird verschiedentlich beschrieben: die Einen fanden sie rosa, Andere lila, oder weisslich-gelb. Ihr Bau zeigt sich nur insofern verändert, als wegen einer mangelhaft entwickelten, unpigmentirten Uvea die radiären Pfeiler beson-

ders kräftig hervortreten, während zwischen denselben das spärliche circulär angeordnete Gewebe das aus dem Auge ausstrahlende Licht gut durchlässt, woher es auch kommt, dass die Iris in verschiedenen Augenstellungen verschieden gefärbt erscheint. Ein Irisschwanken (Iridodonesis), wie es den Kakerlaken von einigen Autoren zugeschrieben wird, kommt hier wie anderwärts nur dann vor, wenn durch Linsenmangel oder deren Luxation die Regenbogenhaut ihre Unterlage verloren hat; dagegen ist als eine Folge der grossen Empfindlichkeit gegen Licht gewöhnlich eine besonders lebhafte Pupillenbewegung vorhanden, welche manchem Beobachter den Eindruck eines Hippus gemacht hat, der dann mit dem ebenfalls sehr häufig bei Albinos vorkommenden Nystagmus zusammengestellt wurde. Die Pupille ist, wie zu erwarten, gewöhnlich sehr eng, und erweitert sich auch bei schwacher Beleuchtung nicht stark.

Ueber die inneren Theile des Auges vermag uns der Augenspiegel hier mehr Aufschluss zugeben, als in irgend einem normalen, leider ist das wirklich prächtige Augenspiegelbild wegen der grossen Lichtscheu und des durch die Untersuchung noch gesteigerten Nystagmus nicht so ruhig zu geniessen, um alle hier enthüllten Details des Fundus genau betrachten zu können. In Bezug hierauf sowie auf das dem Kakerlakenauge eigenthümliche Leuchten der Pupille, über welches lange Zeit so abenteuerliche Vorstellungen umliefen, muss auf das Kapitel, in welchem die Ophthalmoscopie abgehandelt wird, verwiesen werden.

Von den Sehstörungen, unter welchen der Albinos zu leiden hat, und welche ihn zu einem wirklich bedauernswerthen Geschöpf machen, ist selbstverständlich die Lichtscheu die hervorragendste; dass aber dieselbe nicht nur auf einer Nichtabsorption des von allen Seiten in den freiliegenden Theil des Bulbus eindringenden Lichtes beruht, zeigt die Erfahrung, welche früher immer ein gewisses Erstaunen erregte, dass jene Kranken künstliche Beleuchtung, z. B. ein nahestehendes Kerzenlicht ungleich besser, ja manchmal ohne viel Beschwerden ertragen, während das gewöhnliche Tageslicht sie so schwer belästigt (Heliophobie). Es handelt sich hier, ähnlich wie in Fällen von Mydriasis oder Iriscolobom nicht allein um die Menge des die Retina treffenden Lichtes, sondern auch um dessen unregelmässige Diffusion im Innern des Auges und wohl auch dessen Ausbreitung über die vorderen Retinabezirke.

Neben der Lichtscheu besteht nun, wie angegeben wird, gewöhnlich Kurzsichtigkeit, die vielleicht manchmal mit Schwachsichtigkeit verwechselt wird; doch kann die Gewohnheit, das betrachtete Object durch starke Annäherung weniger beleuchtet zu machen, immerhin die Ausbildung von Myopie veranlassen. Bestätigte sich die grössere Convexität der Cornea, so würde dadurch eine solche natürlich noch unterstützt werden.

Bei mehreren in neuerer Zeit genauer untersuchten Patienten hat sich gezeigt, dass Concavgläser keine Verbesserung des Sehens erzielten, dass somit keine Myopie vorhanden war; auch Arcoleo (111) fand bei einer grössern Zahl von Albinos, welche er in Sicilien untersuchte — sie sollen hier auffallend häufig vorkommen — keine Refractionsanomalien, dagegen durchweg eine verminderte Sehschärfe von $1/3$—$1/20$, welche er dem Nystagmus zuschreibt. Dass die Kakerlaken bei schwacher Tagesbeleuchtung deutlicher sehen, erklärt Broca (112) dadurch, dass bei Erweiterung der Pupille die kleinen radiären Spalten der Iris, welche eben so viele kleine Pupillen darstellen, geschlossen werden, eine Er-

klärung, welcher übrigens gerade die oben erwähnte scheinbare Myopie, resp. das Bestreben alle Gegenstände aus der Nähe zu betrachten, wobei ja die Pupille sich verengt, nicht günstig ist. Trélat (113 p. 401) welcher sich diese Gewohnheit ohngefähr ebenso erklärt, wie wir das oben gethan haben, behauptet, dass dennoch eine wirkliche Myopie bei Albinos vorkomme und zwar ziemlich häufig.

Von mehreren älteren Autoren wurde auch angegeben, dass manche derselben bei Nacht selbst besser sähen als normale Augen, wie das der berühmteste Kakerlake Dr. Sachs (114) von sich selbst behauptet hat, ohne dass die Angabe deshalb weniger zweifelhaft wäre.

Ueber die Ursachen des Nystagmus, der übrigens auch bei diesen Patienten mit den Jahren sich mässigt, oder sich selbst ganz verliert, während gewöhnlich ein Strabismus zurückbleibt, ist das jene Bewegungsstörung enthaltende Kapitel nachzusehen.

Von anderen Bildungsfehlern sind am leukotischen Auge Luxation der Linse, Cataract, Colobom der Iris, aber nicht in so auffallendem Verhältniss beobachtet worden, dass sie mit dem Pigmentmangel in eine innigere causale Beziehung gebracht werden müssten.

Von dem beschriebenen pigmentlosen Auge gibt es nun verschiedene Grade und Annäherungen an das Auge mit pigmentarmer Iris und Choroidea, welche als *Leucosis imperfecta* (Semialbinismus bei Negern: Beigel) bezeichnet worden sind. Von dem gewöhnlichen blauen oder grauen Auge sind aber jene niederen Stufen doch immer dadurch unterschieden, dass wenn auch der Pigmentgehalt des Stroma der Gefässhaut in beiden gleich gering, im normalen doch immer eine Pigmentirung des Epithels vorhanden ist. In einigen Fällen von geringerem Albinismus zeigte die Pupille ein mehr violettrothes Licht, die Iris eine mehr graue Farbe, am Pupillarrand trat sogar ein dunkler Saum der Uvea hervor (Seiler).

Als ein charakteristisches Merkmal der partiellen Weisssucht, für welche die sogenannten Elsterneger ein so ausgezeichnetes Beispiel liefern, war von Mansfeld das schwarze Auge aufgestellt worden, doch hat sich das nicht für alle Fälle bewährt, und Geoffroy St. Hilaire meinte, es hinge die Pigmentirung des Auges von der der umgebenden Haut ab, d. h. davon, ob dasselbe gerade in eine pigmentlose oder pigmentirte Stelle der Körperoberfläche falle.

Die bis heute noch sehr spärlichen anatomischen Untersuchungen albinotischer Augen haben zwar die Thatsache eines völligen Mangels des Melanin in der Aderhaut und Iris bestätigt, über das Pigmentepithel jedoch insofern widersprechende Resultate geliefert, als der eine Beobachter (Buzzi 115) die Anwesenheit der Uvea ganz leugnete, Wharton Jones deren Zellen rundlich geformt fand, wogegen De Wecker (98) ihre gewöhnliche polygonale Gestalt bestätigte. Beigefügt mag werden, dass in einem Falle von unvollkommener Leucosis das *Corpus ciliare* schwach pigmenthaltig getroffen, von v. Ammon dagegen eine ganz isolirte Pigmentlosigkeit der Ciliarfortsätze beobachtet wurde (?). Robin (113) fand die Zellen des Pigmentepithels von regelmässig oder unregelmässig polyedrischer Form, ohne Pigmentkörner, mit einem fein granulirten Kern und einem mit feinen graulichen Granulationen durchsetzten Protoplasma. In denselben lagen zwi-

schen Kern und Peripherie 1—4 Tropfen eines gelblichen Oeles mit glänzender Mitte und dunklem Kontur.

Ueber die Entstehungsursachen und das eigentliche Wesen des angeborenen Albinismus sind wir so wenig aufgeklärt als über die partielle Leucosis, welche sich manchmal im späteren Leben an einzelnen Körperstellen entwickelt. Man hat jene Missbildung bald als eine Varietät der betreffenden Thierspecies (Prichard), bald als das Resultat einer Krankheit aufgefasst (Blumenbach und die Mehrzahl der deutschen Autoren), bis endlich Mansfeld dieselbe für eine Hemmungsbildung erklärte. Diese letztere Ansicht wird schon durch die alltägliche Erfahrung unterstützt, wonach wie für Haut und Haare, so auch für das Auge die Pigmentablagerung mit der Geburt keineswegs abgeschlossen ist, sondern sich noch über die ersten Lebensjahre hinaus fortsetzt. Es ist eine leicht zu constatirende, darum aber doch nicht allbekannte Thatsache, welche überflüssiger Weise in neuester Zeit von Wiltshire (116) wieder entdeckt worden ist, dass die Iris fast aller neugeborenen Kinder eine blaue Farbe hat, die sich aber nur sehr selten für später gleich bleibt, sondern entweder durch Aufnahme von Pigment in das Irisgewebe selbst braun wird, oder durch einfache Verdichtung und Verstärkung dieses Gewebes einen mehr graulichen Ton annimmt. Aber auch im Pigmentepithel der Netzhaut scheint nach der Geburt noch in Bezug auf die Zahl oder vielleicht auch Farbe der Pigmentgranula eine Vermehrung resp. Verstärkung vor sich zu gehen, da der Augenspiegel eine deutliche Veränderung der Färbung des Augenhintergrundes mit zunehmenden Jahren zeigt. Doch ist kein Zweifel, dass an dieser Farbenveränderung das Stromapigment der Choroidea einen Hauptantheil hat, in welchem, wie wir im vorigen Kapitel sahen, die Pigmentbildung erst in den letzten Entwicklungsmonaten beginnt, so dass bei oberflächlicher Betrachtung die Aderhaut der Neugebornen fast ganz farblos erscheint. Die Pigmentablagerung im Pigmentepithel (äusseres Blatt der secundären Augenblase) erfolgt jedoch viel früher, woraus für die Entwicklung des Albinismus zweierlei nicht unwichtige Folgerungen sich ergeben: es geht nemlich daraus hervor, dass der störende oder, wenn man will, hemmende Factor schon sehr frühe im Embryo sich geltend macht d. i. zu einer Zeit, wo die Gefässanlage noch in ihren ersten Anfängen steht, und dass derselbe nicht an ein bestimmtes Gewebe gebunden ist, da Abkömmlinge verschiedener Keimblätter, archiblastische und parablastische Producte gleichmässig unter seinem Einfluss stehen. Die Ausbildung dieser Gewebe selbst, in specie der sonst das Pigment tragenden Elemente derselben, wird dabei nicht wesentlich gestört. Die Natur jener Störung genauer kennen zu lernen, wird uns wohl so lange nicht möglich sein, als wir nicht mehr, als zur Zeit, von dem Chemismus der Pigmentbildung wissen. Die im normalen Auge post partum weiterschreitende Pigmentbildung kommt auch bei vielen Kakerlaken vor, und ist insbesondere für ihr Sehorgan von wohlthätigster Wirkung, welche übrigens doch auch zum Theil einer zunehmenden Verdichtung der Sclerotica und Iris zuzuschreiben ist, wodurch gerade der schädlichste Theil der Blendung mehr und mehr beschränkt wird.

§ 28. Melanosis oculi. Den Gegensatz zu dem Pigmentmangel des Auges bildet die angeborene Melanose desselben, welche sowohl in den im Normalzustand pigmentirten als auch nicht pigmentirten Theilen desselben beob-

achtet worden ist. Fast immer erscheint sie als eine partielle auch insofern, als das Pigment gewöhnlich in Form von grösseren oder kleineren Flecken vorhanden ist. Solche Pigmentflecken, von denen übrigens manche nicht dem gewöhnlichen Melanin angehören, kommen an den Lidern, der Conjunctiva, in der Sclerotica (v. Ammon), welche auch im normalen Menschenauge nicht selten ein wenig schwarzes Pigment enthält, dann aber am häufigsten in Iris und Choroidea vor. In ersterer schliesst sich die Melanose entweder an die normale Architectur an, sie erscheint im kleinen oder grossen Kreis oder im Pupillarrand (Wilde 117), oder sie bildet Streifen, welche quer durch die Iris ziehen (Seiler), oder, und das als ganz gewöhnliche Erscheinung, die mehr dem braunen als dem hellen Auge zukommt, zeigt sich als grössere oder kleinere braune oder braunschwarze Flecken, welche meistens über das Gewebe derselben ganz unregelmässig zerstreut sind, manchmal aber auch eine für beide Augen wohl symmetrische Anordnung zeigen v. Walther hatte diese *Taches de rouille* für einen *Naevus maternus* gehalten, beruhend auf einer localen übermässigen Entwicklung der Capillaren. Einige Besitzer solcher Irisflecken, bei welchen dieselben zu Buchstaben gruppirt schienen, haben sogar einer ephemeren Berühmtheit durch die Namenszüge, welche man darin erkennen wollte, sich erfreut (Mackenzie 118 p. 516). Es mag hier gleich beigefügt werden, dass gar nicht so selten auch weissliche Flecken in der Iris vorkommen, welche gewöhnlich hervorragende Puncte des Reliefs des kleinen Kreises sind, und durch ihre gegenseitige Stellung selbst Kreise bilden. Eines bedeutungsvolleren weisslichen Streifens in der Iris haben wir schon beim Pseudocolobom gedacht.

Zu den »Naturspielen«, soweit sie die Farbe des Auges betreffen, gehören nun auch diejenigen Fälle, in welchen die eine Iris eines Individuums eine andere Farbe hat als die andere, und in welchen eine Iris aus verschieden gefärbten Sectoren zusammengesetzt ist. Man hat beide Zustände mit den Namen Heterophthalmus oder Heterochromia belegt, und müsste eigentlich eine *Heterochromia bilateralis* und *unilateralis* unterscheiden, während die erstere Bezeichnung nur für die ungleiche Färbung beider Augen gebraucht werden sollte. Die einseitige Heterochromie, eine Art Scheckenbildung findet sich bei manchen Thieren ziemlich häufig, kommt jedoch auch beim Menschen vor und könnte zu diagnostischen Irrthümern Veranlassung geben. Am häufigsten zeigte sich der eine Theil der Iris, etwa die Hälfte grau oder bläulich, der andere bräunlich gefärbt, ohne dass in der Structur oder wenigstens in der Zeichnung ein Unterschied besteht.

Eine, beim Menschen immerhin wenigstens nicht häufige Missbildung ist der Heterophthalmus oder die bilaterale Heterochromie, auch Dikorus (Lenhossek) genannt; eine Missbildung, welche übrigens in Wirklichkeit nicht so sehr auffällt, als man erwarten sollte. Wenn auch die äussere Form solcher Augen keine wesentliche Differenz, überhaupt keine sonstige Anomalie verräth, zeigt doch öfters schon die Functionsprüfung, dass das eine oder andere Auge ein krankes, unvollkommenes ist, und haben auch, worauf besonders Hutchinson (119) aufmerksam machte, an solchen Augen vorgenommene Operationen gelehrt, dass deren innere Organisation keine normale ist, so dass in solchen Fällen die Prognose immer mit einiger Reserve gestellt werden muss.

In Bezug auf angeborene Pigmentirung im Sehnerven, Papille und Retina, welche in gleicher Form und viel häufiger im späteren Leben vorkommen, sind die die Pathologie jener Theile behandelnden Artikel nachzusehen.

Dritte Abtheilung.

Angeborene Missbildungen den ganzen Bulbus betreffend.

§ 29. Anophthalmus. Wie noch andere Missbildungen, ist auch das Fehlen des Auges viel häufiger auf beiden Seiten, als nur auf einer beobachtet worden; insbesondere beziehen sich die älteren Berichte fast alle auf eine *Anophthalmia*[1]) *bilateralis*; die Zahl der Monophthalmi wurde nur dadurch vergrössert, dass man ganz unrechtmässig auch das Doppelauge der cyclopischen Missgeburten dazu rechnete. Von dem beiderseitigen Anophthalmus enthält die Literatur einige Dutzend Beispiele; die neueste hat dazu verhältnissmässig wenige beigetragen, um so mehr aber zu der genaueren anatomischen Kenntniss der betreffenden Fälle. So auffallend und merkwürdig den älteren Beobachtern auch die augenlosen Missgeburten erschienen, so mangelt doch in den meisten ihrer Publicationen eine genaue Beschreibung des Inhaltes der Orbita sowohl als der Schädelhöhle, obschon letztere noch etwas mehr Berücksichtigung fand.

Abgesehen von einigen seltenen Fällen, wo auch die Adnexa des Auges völlig deficient gefunden wurden, und von welchen in einem andern Paragraphen gehandelt werden soll, lauten die ziemlich übereinstimmenden Befunde bei Anophthalmus dahin, dass hinter einer etwas verengerten, geschlossenen oder wenig geöffneten Lidspalte eine grössere oder kleinere konische Höhlung lag, welche von einer weichen röthlichen Haut ausgekleidet, den Conjunctivalsack vorstellte. Im Fundus dieses Sackes zeigte sich öfters, von der Bindehaut überzogen, eine kleine rundliche Prominenz, ein weisslicher kleiner Knoten, oder eine »zahnfleischartige Masse« von unregelmässig höckeriger Oberfläche und meistens weicher Consistenz. Manchmal fehlte aber auch jeglicher solcher Inhalt, und selbst die Section ergab ausser einer die Rückseite der Conjunctiva bedeckenden fibrösen Haut, welche von den Einen für eine Sklera, von Andern für eine *Fasc. Tenoni* genommen wurde, welche aber in der That wohl immer der letzteren entspricht, kein Rudiment eines Bulbus. Die erwähnte pulpöse Hervorragung oder der kleine rundliche Knopf hinter dem Bindehautsack bestand, wo er anatomisch untersucht wurde, aus einem Klumpen fetthaltigen Bindegewebes, umlagert von einigen oder allen äusseren Augenmuskeln. Das Verhalten des manchmal ebenfalls dazu gehörigen Sehnerven soll weiter unten besprochen werden. In einigen Fällen erinnerte aber doch die Form dieses Knopfes an einen verkümmerten Bulbus, oder es zeigte sich wie in einem von Seiler (83 p. 3) beschriebenen Falle hinter der Conjunctiva ein unverkennbarer kleiner Augapfel, der in letzterem Falle nur etwa 4 Mm. lang und breit war und an der vorderen Fläche, also unmittelbar an die Bindehaut anstossend eine kleine trübe Cornea besass, durch welche hin-

[1]) Diese etwas zweideutige Bezeichnung wird vielfach für den bilateralen Augenmangel gegenüber dem einseitigen, der Anophthalmus heisst, gebraucht.

durch Pigment im Augeninnern zu erkennen war. Bei der Eröffnung erwies sich das eine dieser Augen als eine mit wässriger Flüssigkeit gefüllte Blase, in welcher weder Retina, noch Linse oder Glaskörper vorhanden waren. Es ist ein solcher Befund deshalb von besonderem Interesse, weil in ihm gewissermassen ein Mittelglied zwischen (scheinbarem) Anophthalmus und Mikrophthalmus gegeben ist, und weil wir daraus die gegründete Vermuthung schöpfen können, dass hinter dem Bindehautsack mancher anderen augenlosen Missgeburten eben auch ein solcher verkümmerter Bulbus gelegen hat. Immerhin muss einstweilen festgehalten werden, und wird gerade durch zwei neueste Berichte bestätigt (Röder 121. Gradenigo 122), dass auch ein jedes Rudiment eines Augapfels fehlen kann, und die Ansätze der vorhandenen Muskeln an die hinter der Conjunctiva liegende fibröse Fascie geschehen, die wohl darum von Gradenigo für den Repräsentanten der Sclerotica angesprochen wird. Ob in dem von Muskeln und Fettzellgewebe gebildeten Conglomerat nicht doch Spuren eines Bulbus durch Pigment hätten nachgewiesen werden können, ist nachträglich nicht mehr auszumachen, verdient jedoch in der Zukunft besondere Berücksichtigung.

Anwesenheit der sog. Adnexa des Auges bei völligem Mangel des Bulbus, wie sie der grösseren Mehrzahl der beschriebenen Fälle zukommt, hat von jeher die Verwunderung der Beobachter erweckt, und zu dem Schlusse geführt, dass die Entwicklung jener, nemlich der Augenlider, der Orbita der Muskeln und Thränenorgane von der des Augapfels selbst ganz unabhängig sei, ein Schluss, der wie wir sehen werden, höchstens mit Einschränkung angenommen werden kann. Was die Lider und Orbita anlangt, so fehlten dieselben allerdings nur in wenigen Fällen ganz, zeigten aber in fast allen abnorm geringe Dimensionen. Die Lider waren einestheils sehr niedrig, selbst nur als kurze Hautfalten vorhanden, die Lidspalte meistens viel enger als normal. Die in ihnen eingeschlossenen Organe, wie Cilien und Thränenkanälchen waren meistens vorhanden, doch wurden letztere mehrmals verschlossen gefunden. Waren die Lidränder frei, so waren sie gewöhnlich wie auch sonst bei mangelndem Bulbus etwas nach einwärts geschoben, öfters aber musste die Lidspalte, um zur Ansicht der Bindehaut zu kommen, erst künstlich geöffnet werden.

In Bezug auf die äusseren Augenmuskeln wurde schon bemerkt, dass dieselben in der Regel vorhanden waren: dass dabei der eine oder andere derselben nicht aufgefunden wurde, kommt wenig in Betracht: Ursprung und Verlauf waren ziemlich die normalen, die Insertion geschah manchmal nicht an ein etwa vorhandenes Bulbusrudiment, sondern an die Conjunctiva, resp. an die von ihr überkleidete fibröse Membran, worin wohl eine Stütze für das Ergebniss der anatomischen Untersuchung, welches im embryologischen Theil erwähnt wurde, liegt, dass die ersten Anlagen der Muskeln einer der Sklera von aussen aufliegenden Bindegewebsschicht angehören, welche erst nach und nach in einen innigen Connex mit jener Membran geräth.

Wo die Muskeln vorhanden waren, waren es auch die Nerven, welchen wenigstens einige Beobachter besonders nachgespürt haben[1]; auch die Thränendrüse war mit ganz wenigen Ausnahmen (Seiler) immer vorhanden, in einem

[1]) Bei Gradenigo fehlte das Ganglion ciliare mit seinen Wurzeln und den Nn. ciliares.

Falle soll sich dieselbe sogar an Stelle des Bulbus gefunden haben (Weidele-Schmidt.)

Die Orbita selbst war stets enger als in der Norm, und zwar in allen Durchmessern; das *Foramen opt.* öfters auch die *Fiss. orbit. sup.* wurden meistens ebenfalls bedeutend enger gefunden; in ersterem lag der Sehnerv resp. dessen Rudiment, und die *Art. ophthalmica*; manchmal auch nur die letztere.

Was den Sehnerven betrifft, dessen Mangel hier von besonderem Interesse sein muss, so ist zwar von einigen Autoren seine Anwesenheit einfach erwähnt, von den meisten aber seine Abwesenheit constatirt worden. Da für die positiven Fälle eine genaue mikroscopische Untersuchung nicht vorgenommen wurde, mehrfach aber von einem geringen Kaliber, einer bandförmigen Abplattung gesprochen wird, so ist daraus zu entnehmen, dass es sich um einen atrophischen Nerven handelte, dem gerade die nervösen Bestandtheile mangelten, und von welchem etwa nur die Scheide oder das bindegewebige Gerüste übrig geblieben war. Aber auch ein vollständiges Fehlen, selbst bis zum Gehirn ist von mehreren Beobachtern angegeben, so von Rudolphi in einem Fall von Anophthalmus, von dem weiter unten noch die Rede sein wird, von Seiler für den oben schon citirten Fall von hochgradigem Mikrophthalmus; unter den Neueren ist von Röder nur ein feiner Bindegewebsstrang eventuell als Rudiment der Optici angemerkt, sonst war vom Opticus und Chiasma keine Spur vorhanden. Gradenigo vermisste den intra- und extracraniellen Theil des *N. opticus*, auch die Vierhügel waren nur sehr unvollkommen entwickelt. In einer von Seiler (83 p. 7 bis 9) beschriebenen augenlosen Missgeburt waren die Sehnerven bis zu den Sehhügeln zu verfolgen, und vereinigten sich an gewöhnlicher Stelle zum Chiasma, von ihrem vorderen Stück ist nichts gesagt, doch ist dessen Fehlen anzunehmen, da die Augenhöhlen sehr unvollkommen entwickelt waren.

Die Sehhügel fehlten auch in einem von Malacarne publicirten Falle, ebenso bei Schmidt; bei Osiander waren beide Hirnhälften zu einer Masse mit einer Hirnkammer verschmolzen (vgl. 83 u. 123). Das in mehrfacher Hinsicht interessante von Klinkosch beschriebene Monstrum hatte undeutliche Vierhügel, deutlichere Sehügel, es fehlten die sechs ersten Nervenpaare. Für den Verlauf eines Sehnervenrudiments besitzen wir eine genaue Beschreibung von Tiedemann (124 p. 76) einen augenlosen Hund betreffend. Bei der Untersuchung des Gehirns zeigten sich an der Stelle der Sehnerven zwei ungemein zarte Fäden, die von den Sehhügeln und dem vordern Vierhügelpaar kommend, sich um die Hirnschenkel schlugen und vor den Hirnanhang traten, wo sie endigten, ohne mit einander in Verbindung zu treten; Sehhügel und Vierhügel selbst waren normal gestaltet; nur die knieförmigen Körper hatten eine ungewöhnliche Grösse. In der Orbita eines 13 jährigen ohne Augen geborenen Mädchens (s. o. § 20), dessen Schädel auf der hiesigen Anatomie in Spiritus aufbewahrt wurde, fand ich eine von dem *Foramen opticum* entspringende fibröse Scheide, welche nach vorn in das Periost der Orbita überging, und in welcher nur ein dünnes lockeres Bindegewebsbündelchen enthalten war. Die Orbita selbst zeigte abgesehen von ihren geringeren Dimensionen eine Formation, welche der des Neugeborenen sich näherte: der obere Orbitalrand war sehr scharf, der innere völlig verstrichen, der *Arcus superciliaris* gar nicht entwickelt.

§ 30. Monophthalmus. An Beispielen eines einseitigen Anophthalmus ist die Literatur viel ärmer, als an solchen eines beiderseitigen Augenmangels, doch befinden sich gerade unter jenen einige, bei welchen eine genauere Untersuchung angestellt wurde. Dass die Monophthalmie nicht mit dem Cyclopenauge zusammengestellt werden darf, wurde schon früher hervorgehoben; sie unterscheidet sich selbst von den vollkommensten Formen des letzteren dadurch, dass das vorhandene eine Auge an seiner richtigen Stelle sich befindet, was auch für den Defect selbst gilt, während das mehr weniger verschmolzene Doppelauge aus der seitlichen in eine mediane Lage gerückt ist.

P. Hoederath (125), welcher selbst zwei auf der Saemisch'schen Klinik beobachtete Fälle von Monophthalmus congenitus beschreibt, fand in der Literatur nur vier[1]) dieses Bildungsfehlers verzeichnet, von welchen einer von v. Walther (126), einer von Klinkosch (127), einer von Rudolphi (128) und einer von Piringer (129), letzterer ohne nähere Beschreibung, publicirt worden ist. In diesen Fällen war die anatomische Untersuchung angestellt worden, wozu die beiden neuesten keine Gelegenheit boten, da die betreffenden Individuen zur Zeit der Publication noch am Leben waren, und zwar das eine im elften Lebensjahre stand, das andere im fünften. Die Beschreibungen von Rudolphi, Klinkosch und Piringer betreffen neugeborene Kinder, welche bald nach der Geburt starben; die von Walther beobachtete Missgeburt war ein 3 monatliches Mädchen. Das vorhandene Auge zeigte, soweit dessen Zustand bekannt wurde, keine wesentlichen Abnormitäten, ausser in dem Falle von Klinkosch, in welchem dasselbe eine grosse Blase vorstellte, deren Wandungen nur aus einer Haut, wahrscheinlich der Sclerotica gebildet war, während Retina und Choroidea (?) fehlten. Im Innern erkannte man Glaskörper und Linse, und, was die übrigen Angaben etwas zweifelhaft macht, einen Theil der Strahlenkrone; es lag also hier ein hoher Grad von Degeneration eines Bulbus, nicht aber wie von Manchen vermuthet wurde, eine vergrösserte primordiale Augenblase vor. Am reinsten zeigte sich der Monophthalmus jedenfalls bei der von Hoederath untersuchten Kranken, bei welcher nicht nur das vorhandene Auge sich normal erwies, sondern auch auf der anderen Seite der Defect sich auf den Bulbus selbst beschränkte, da alle Nebenorgane soweit sich dies am Lebenden beurtheilen liess, vorhanden, und, abgesehen von einer etwas engeren Lidspalte und Augenhöhle, normal entwickelt waren. Schon in höherem Grade alterirt fand v. Walther die Adnexa: eine sehr kleine Orbita, verschrumpfte, verwachsene Augenlider, und eine asymmetrische Nase. Bei den von Klinkosch und Rudolpi beschriebenen Monstra zeigten jene Veränderungen den höchsten Grad: die Stelle des fehlenden Auges wurde von ersterem nur durch eine kleine narbige Hauteinziehung bezeichnet gefunden, Rudolphi bemerkte auch davon nichts, es zog sich vielmehr die Stirnhaut ohne irgend eine Unterbrechung über die Augengegend auf die Wange herab, es fehlten also Lider, wohl auch Orbita, Nase und ausserdem waren Schädel und Gehirn sehr missbildet. Wir haben hier also ausser dem Mangel eines Auges noch eine Missbildung vor uns, welche wir früher unter dem Namen des Kryptophthalmus schon näher kennen gelernt haben (§ 21). Interessant sind die

[1]) Dazu kommt noch ein von Otto gesehenes Kalbsmonstrum, welchem das linke Auge fehlte.

gleichzeitigen Abnormitäten innerhalb der Schädelhöhle, welche sich in dem Rudolphi'schen Falle auf die rechte Schädel- und Hirnhälfte beschränkten, und zwar auf deren vorderen Theil. Eine Orbita war rechts, wo der Bulbus fehlte, nicht vorhanden: Oberkiefer und Orbitalplatte des Stirnbeins berührten sich beinahe; es fehlte der rechte Olfactorius und Opticus, ebenso der 3., 4., 6. Hirnnerv derselben Seite. Die rechte Grosshirnhemisphäre war in ihrem vorderen Theil sehr verkümmert, ebenso die einzelnen Organe des Mittelhirns zu Ungunsten der rechten Seite ungleich entwickelt.

Bei Klinkosch's Falle begegnen sich die Anomalien des Schädels und seines Inhalts auf beiden Seiten: die Hemisphären waren nicht getrennt, die Ventrikel bildeten zusammen einen gemeinschaftlichen grossen Sack, der viel Flüssigkeit enthielt.

Diese letztere Missgeburt, bei welcher ein Auge sammt Zubehör fehlte, das andere aber in einem hohen Grade der Destruction sich fand, bildet einen Uebergang zu einigen wenigen Beispielen von bilateralem Anophthalmus mit ähnlichen Complicationen. So soll Sprengel [s. Sybel (123 p. 6)] ein Kind ohne Augen und Augenlider beobachtet haben, und gibt uns Seiler (83 p. 7) eine genauere Beschreibung eines in der Dresdener anatomischen Sammlung aufbewahrten Präparates von Anophthalmus. Dasselbe rührt von einem Kinde her, welches 3 Tage lebte, ohne Augenlider und Augen geboren war. Das ganze Gesicht war in hohem Grade missbildet, die behaarte Kopfhaut überzog die Augengegend ohne Unterbrechung, die die Orbita zusammensetzenden Knochentheile fehlten, das Gehirn war hydrocephalisch, nur an der Basis waren einige Theile entwickelt. Ausser diesen Deformitäten waren auch noch an den oberen Extremitäten solche vorhanden: von der rechten fehlte Alles bis auf Clavicula und Scapula.

Von Thiermissbildungen erwähnt Seiler nach Mittheilung zwei Fohlen, welchen die Augen und Augenlider fehlten, ohne nähere Beschreibung. Schliesslich mag noch ein etwas räthselhafter Fall erwähnt werden, von welchem Schröter v. d. Kolk an J. Müller (130) berichtete. Hier lag das eine Auge eines Kindes als eine invertirte leere Hülse innerhalb der Schädelhöhle, getrennt von den ebenfalls vorhandenen durchsichtigen Theilen. Eine weitere Mittheilung, deren dieser Fund recht sehr bedürfte, ist leider nicht vorhanden.

§ 31. Entstehung des Anophthalmus. Wenn wir die anatomisch untersuchten Fälle von Anophthalmus zusammenstellen, so finden wir darunter solche, bei welchen der Defect sich auf den Bulbus allein beschränkte, andere, in welchen er sich am Sehnerven aufwärts bis zu den Centralorganen erstreckte, und von diesen wiederum nur diejenigen Theile betraf, welche mit jenem Nerven in unmittelbarem Zusammenhang stehen, oder endlich über einen noch grösseren Bezirk des Gehirns sich ausdehnte. Weiterhin zeigten sich in bei weitem der grösseren Mehrzahl der Fälle die Umgebungen der Augen, deren Schutz- und Hilfsorgane normal entwickelt, oder nur in Bezug auf ihre Dimensionen wenig verkümmert, nur in wenigen fehlten einzelne Adnexa, und als ganz seltene Ausnahme alle.

Lassen wir letztere Befunde einstweilen beiseite, und suchen von den gewöhnlicheren Fällen aus nach einer Erklärung des Zustandekommens der Anophthalmie, so wird es nicht schwer werden, zwischen den zwei zunächstliegenden

Hypothesen zu entscheiden. Die eine lautet dahin, dass das Auge aus irgend einem Grunde gar nicht gebildet worden, die andere, dass es in irgend einem Stadium seiner Ausbildung wieder zu Grunde gegangen sei. Zwischen beiden liegt allerdings noch die Annahme mitten innen, dass die Entwicklung von Anfang an eine fehlerhafte gewesen, und darum über eine gewisse Stufe nicht hinausgekommen sei, dass gewisse Anomalien der ersten Anlage nothwendig zur späteren Zerstörung führen mussten.

Die Unterstellung, dass die erste Anlage ganz unterblieben sei, welcher sich die älteren Autoren mehr zuneigten, ist gegenüber der vollkommenen Ausbildung der Nebenorgane des Auges: Lider, äussere Muskeln, Nerven, Orbita, nicht haltbar. Wir können uns die regelrechte Ausbildung dieser ohne die Existenz eines Augapfels nicht denken, insbesondere setzt die Entwicklung der Lider und Augenhöhle eine solche mit Nothwendigkeit voraus. Gegen diese Supposition, welche durch die Entwicklungsgeschichte [1]) mächtig gestützt wird, können auch die Fälle nicht entscheiden, in welchen wirklich gar kein Rudiment eines Bulbus gefunden worden ist. Wenn wir in Betracht ziehen, bis zu welchem Grade der Verkümmerung eine, durch irgendwelche innere Desorganisation herbeigeführte Phthisis eines völlig ausgebildeten Bulbus führen kann, welchen schliesslich nur seine derbe Sklera vor völliger Vernichtung bewahrt, so liegt es nahe, die letztere für einen noch wenig herangewachsenen als sehr möglich anzusehen. Dabei ist festzuhalten, dass, wenn einmal die erste Anlage jener Nebenorgane des Auges vollzogen ist, diese sich auch weiter entwickeln können, wenn jenes im Wachsthum gehemmt, oder selbst ganz zu Grunde gegangen ist. Aber in welche Zeit letzteres Ereigniss auch fallen mag, jedenfalls liegt sie weit entfernt von der ersten Anlage des Organs, der Abschnürung der primären Augenblase. Mag nun die Destruction des Auges von den Centralorganen aus eingeleitet werden, oder wie namentlich nach den Gudden'schen Experimenten viel wahrscheinlicher geworden ist, in umgekehrter, centripetaler Richtung fortschreitend das Centrum selbst erreichen, jedenfalls hat ein Bulbus eine Zeit lang existirt, um welchen sich die Orbita formte, an welchem sich die Haut zu den Lidern faltete, über welchen sich die Conjunctiva bildete.

Der älteren Annahme einer primären Bildungshemmung treten die wenigen Fälle von Anophthalmus näher, in welchen nicht nur der Augapfel, sondern auch seine Nebenorgane fehlten. Hierbei könnte man eher an einen Mangel der ersten Anlage der Sehorgane denken, allein auch hier bleibt die andere Annahme die wahrscheinlichere, dass jene Anlage erfolgte, aber sehr bald wieder zu Grunde ging. Als die Ursache der frühzeitigen Destruction läge hier die Entstehung eines Hydrocephalus um so näher, als zu dieser Zeit zwischen der Augenblase und dem Gehirn noch eine offene Communication besteht; jedoch darf eine »hydatidenartige« Beschaffenheit des Auges, wie sie in dem Klinkosch'schen Falle vorlag, um deswegen nicht ohne weiteres als eine Wassersucht der primären Augenblase angesehen werden, da ja das Vorhandensein von Linse und Glaskörper in der Blase ausdrücklich hervorgehoben wurde. Wie schon in der Einleitung zu diesem Capitel ausgesprochen wurde, scheint es am wahrscheinlichsten, dass solche Störungen, welche gleich zu Anfang den Ruin der Augenblasen her-

1) S. das vorhergehende Cap.

beiführen, oder sogar ihre Abschnürung von den Hirnblasen verhindern, zugleich die Entwicklung dieser letzteren so beeinträchtigen, dass dadurch das Fortbestehen des Embryo in Frage gestellt wird, oder kopflose Monstra erzeugt werden, denen die höheren Sinnesorgane sämmtlich fehlen.

Die für das Fortbestehen des Bulbus unheilvollen Vorgänge an diesem selbst sind oben schon namhaft gemacht worden, und erhalten in den das *Coloboma oculi* sowie den Mikrophthalmus behandelnden Abschnitten ihre Belege.

Dann aber treten gewiss gerade hier bestimmte fötale Erkrankungen in den Vordergrund, von denen in den nachfolgenden Capiteln die Rede sein wird, und für welche hier nur als ein neues Beispiel eine totale Netzhautablösug aufgeführt werden soll, wie ich sie bei einem Anencephalus beobachtet habe. Ob diese Krankheiten da und dort einen traumatischen Ursprung haben, ist für den einzelnen Fall wohl kaum sicher zu stellen, doch gibt uns ein von Hoederath (125) beschriebener dafür einen interessanten Beleg. Das betreffende Kind hielt unmittelbar nach der Geburt und noch längere Zeit nachher die Hand auf die geschlossenen Lider des fehlenden Auges fest aufgedrückt. Wodurch diese offenbar in utero schon angenommene Haltung erzwungen war, ob etwa durch amniotische Verwachsungen (134) oder die Lage der Nabelschnur, bleibt freilich unentschieden.

§ 32. Cyclopie. Von dem Monophthalmus wesentlich verschieden ist die seit alter Zeit Cyclopie genannte Missbildung, insofern die bei ihr manchmal vorhandene Vereinfachung der Sehorgane immer doch nur eine scheinbare ist, indem sich die Duplicität des einen Auges, wenn auch äusserlich verwischt, doch bei der inneren Untersuchung allemal nachweisen lässt; ausserdem aber ist nicht die Zahl, sondern die Lage, welche die mehr oder weniger vereinigten Augen im Gesicht einnehmen, das für die Cyclopie characteristische Moment. Aus diesem Grunde ist es jedenfalls besser, diesem Bildungsfehler den klassischen Namen zu lassen, anstatt ihn, wie vorgeschlagen wurde: *Monophthalmia cyclopica* oder *imperfecta* zu nennen. Die Cyclopie gehört, wie aus der älteren Literatur zu ersehen ist, sowohl bei Menschen als bei Thieren nicht gerade zu den sehr seltenen Monstrositäten, unter den letzteren scheint namentlich das Schwein dadurch bevorzugt zu sein; wohl jede anatomische Sammlung hat Beispiele davon aufzuweisen, die, wie bei manchen anderen Missgeburten der Fall ist, allerdings nützlicher hätten verwendet werden können, denn als merkwürdige Naturspiele in Gläsern zu prangen. Doch fehlt es auch nicht an sorgfältigen anatomischen Untersuchungen, und diese haben im Allgemeinen so übereinstimmende Resultate ergeben, dass darin jedenfalls ein grösseres Interesse liegt, als in den dabei vorkommenden kleineren Varietäten. Es hat sich sowohl für den Bau des cyclopischen Auges selbst, als auch für den des zugehörigen Schädels und Gehirns ein Typus herausgestellt, durch welchen diese Missbildung nicht nur selbst als eine einheitliche, wohldefinirte teratologische Species erscheint, sondern auch in Bezug auf ihre Genese bis zu einem gewissen Grade aufgeklärt worden ist.

Das cyclopische Auge liegt in dem untern mittleren Theil der Stirne, etwas über der Stelle, wo im normalen Gesicht die Nasenwurzel liegt. Gewöhnlich zeigt schon die Bildung der Lidspalte bei oberflächlicher Betrachtung, dass sie

aus vier Lidern, zwei oberen und zwei unteren zusammengesetzt ist; dadurch gewinnt sie eine rhombische Form, meistens mit einer oberen und unteren abgerundeten Ecke. Die medialen Enden der beiden Lider stossen unter einem mehr weniger stumpfen Winkel zusammen, an welchem auch eine Verkürzung des Doppellids gegeben ist, so dass wohl immer ein Theil des Bulbus, meistens die ganze Cornea unbedeckt bleibt. In früheren Entwicklungsstufen sind übrigens mit der Niedrigkeit der Lider, auch jene Verbindungsstellen wenig markirt, wie ich an einem vor mir liegenden etwa 2 monatlichen cyclopischen Embryo sehe. Beim ausgetragenen Kinde haben die vier Lider übrigens ein normales Aussehen und sind gebaut wie normale, auch die Cilien fehlen nicht.

Die Orbita dagegen zeigt einen anderen Aufbau, indem hier vor Allem die sonst die beiden Orbitae trennenden Stücke des Siebbeines fehlen; von diesem Knochen ist manchmal wohl ein Rudiment, welches der *Lamina cribrosa* entspricht, vorhanden, ohne aber die zum Durchtritt der Olfactoriusfäden nöthigen Löcher zu besitzen. Ueberall wurde eine solche normale Siebbeinplatte mit der *Crista galli* vermisst. Ausser den *Processus orbitales* beider Oberkiefer helfen auch die horizontal gelagerten Thränenbeine den Boden der Augenhöhle bilden, zu deren Decke die betreffenden Fortsätze der Stirnknochenhälften in der Mitte zusammentreten. In früherer Zeit besteht an dieser Stelle eine häutige Naht, durch welche hindurch der Sehnerv zum Auge tritt. Der grösste Theil des Orbitalrandes wird jedoch durch die Jochbeine gebildet, welche mit ihren *Processus maxillares* und *frontales* an die Stirnbeine sich anlegen. In Bezug auf die Grösse der an der Orbita theilnehmenden und benachbarten Knochen scheinen übrigens zahlreiche Varietäten vorzukommen, von welchen dann auch die Grösse der die Orbita mit der Schädel- und Nasenhöhle verbindenden Spalten abhängt. Die unpaare Entstehung des *Os frontis*, auf welche Huschke (135) besonderes Gewicht legt, kann ich nach dem, was ich an Embryonen gesehen habe, auch für Cyclopen nicht annehmen. Sehr häufig, obschon nicht immer, ist das Cyclopenauge noch durch einen eigenthümlichen Rüssel (Proboscis) ausgezeichnet, welcher unmittelbar über demselben entspringt und eine beträchtliche Länge erreichen kann: derselbe ist hohl, und zeigt schon sehr frühe am freien Ende eine knopfförmige Auftreibung. In seiner Basis sind manchmal kleine Knochentheile verborgen, welche als Rudimente der Nasenbeine angesprochen worden sind, wie überhaupt der ganze Fortsatz als rudimentäre Nase angesehen wird, welche aus dem mittleren Stirnfortsatz sich entwickelt. Eine eigentliche gegen den Mund und die Orbita hin abgeschlossene Nasenhöhle existirt in der Regel nicht; an einem zweiten mir durch die Güte des Herrn Hofrath Ecker zur Untersuchung überlassenen Fötus zeigt sich unterhalb der Orbita nur eine ganz seichte doppelte Vertiefung als Andeutung der Riechgruben; doch hat Dursy (136 p. 168 u. 169), bei dem Näheres über die Bildung der Cyclopenorbita einzusehen ist, eine wirklich verkleinerte Nasenhöhle unter der Augenhöhe gefunden, in welcher sogar eine Andeutung von Muscheln und ein Septum vorhanden war, welches aber hier als Vomer aufgefasst werden muss. Die *Adnexa bulbi* bieten nicht viel Interessantes, insofern eben fast Alles doppelt gefunden wird, wenn auch die Trennung, wie z. B. bei den Muskeln manchmal schwer durchzuführen ist, da die einzelnen Muskelbäuche auf einen verhältnissmässig

kleinen Raum vertheilt, sich vielfach berühren. Die Thränendrüse wurde in der Regel doppelt gefunden; auch 4 Thränenpuncte kommen vor (Tiedemann u. A.). Im Bulbus selbst nun zeigt sich die Verdoppelung in grosser Mannigfaltigkeit, wie schon oben erwähnt wurde. Der Bulbusraum erscheint bald als ein gänzlich gemeinschaftlicher, bald durch ein von der Mitte der Wand hereinragendes Septum getheilt. Dieses letztere ist meistens durch eine Falte der Choroidea und Retina oder vielleicht auch nur der letzteren gebildet, und ragt verschieden weit in die Bulbushöhle herein, bald mehr in der hinteren, bald mehr in der vorderen Abtheilung des Auges. Es scheinen hier in der That alle Stufen der Trennung vorzukommen, bis zu einer vollkommenen, da zwei ganze Bulbi in einer gemeinschaftlichen Augenhöhle liegen, wie das von Haller beschrieben worden ist. Huschke hat sich bemüht aus der bunten Mannigfaltigkeit der Befunde über den Bau des Doppelauges je nach der Häufigkeit des Vorkommens der einen oder anderen Modification gewisse Regeln zu abstrahiren, und dieselben zur Stütze seiner Theorie der Cyclopenbildung zu verwenden, von der nachher die Rede sein soll. Wir wollen uns auf jene Varietäten nicht weiter einlassen, es genügt zu erwähnen, dass aus den bekannten ein Gesetz sich nicht construiren lässt, dass alle Theile des Auges, und in fast jedem Grade doppelt, resp. vereinigt gesehen worden sind, ohne dass die Einfachheit des einen die eines andern regelmässig involvirt; nur soll sich nach Huschke niemals eine einfache Linse bei verdoppeltem Glaskörper vorgefunden haben, wohl aber das Umgekehrte.

Wenn dieser Autor eine Duplicität der Hilfswerkzeuge des Auges häufiger als eine solche am Bulbus selbst findet, und dadurch die Annahme bestätigt findet, »dass unvollkommenere Theile sich überhaupt leichter entwickeln als die höheren edleren«, so können wir nach unserer Annahme, einer Verdopplung durch Duplicität der Keime jene Thatsache sehr wohl verstehen. Die Verschmelzung kreisförmig angelegter Theile, wie Cornea, Iris resp. Pupille, auch Krystalllinse giebt natürlich oft zu sog. Achterformen Veranlassung; ebenso nahe liegt, dass der cyclopische Bulbus meistens abnorm gross ist, obwohl auch hier sogar der Mikrophthalmus beobachtet worden ist. In einigen wenigen Fällen, — sie finden sich bei Huschke (135 p. 27) aufgeführt — fehlten die Augäpfel, ein Zustand der von ihm mit Unrecht als höchster Grad der Cyclopie erklärt wird: die vorhandene Orbita setzt auch hier die frühere Anwesenheit eines Doppelbulbus mit Nothwendigkeit voraus, wie das für die Anophthalmie überhaupt gilt.

Ist nun aber auch die Mannigfaltigkeit der Befunde in Bezug auf Einfachheit oder Verdopplung am cyclopischen Auge noch so gross, so musste selbst Huschke zugeben, dass eine streng durchgeführte Einfachheit, eine *Cyclopia perfecta* nicht existirt, und müssen wir beisetzen, auch nicht existiren kann; weshalb denn auch diese Missbildung von dem Monophthalmus völlig zu trennen ist.

Es erübrigt noch, nach dem Verhalten des Sehnerven und der zugehörigen Gehirntheile zu forschen. Auch an jenem zeigen sich dieselben Varietäten der Verschmelzung, welche entweder nur dessen Scheide getroffen, oder aus zwei getrennt entspringenden Nerven im weiteren Verlauf am Boden der Schädelhöhle einen einzigen dicken Strang gebildet hat. Diese Verschmelzung geht übrigens manchmal noch weiter rückwärts, und endigt gewissermassen in einer Vereinigung der Hemisphären zu einer Masse, der Gehirnventrikel zu einer gemeinschaftlichen Höhle. Abgesehen von noch anderen, jedenfalls secundären, Desorganisationen, wie Hydro-

cephalus, kommt jene Verschmelzung der Hemisphären so häufig bei Cyclopie vor, dass sie mit dieser offenbar in einem innigen Zusammenhang steht.

Ganz constant bei dieser Missbildung ist der Mangel der Riechnerven, welcher übrigens auch, wie Tiedemann (124) gezeigt hat, beim Wolfsrachen Regel ist, und mit welchem natürlich der Mangel des Siebbeins bei beiden Monstrositäten in nächster Causalverbindung steht, aus welcher wir wiederum für das genetische Verhältniss zwischen Bulbus und Orbita einen deutlichen Fingerzeig erhalten.

Von diesen Desorganisationen des Gehirns hängt natürlich auch die Lebensfähigkeit der cyclopischen Missgeburten ab, und es möchte in dieser Beziehung auffallen, dass einerseits verhältnissmässig viele solche Früchte ausgetragen, nicht wenige lebend geboren werden, alle aber kurze Zeit nach der Geburt sterben, so dasss man leider bis jetzt noch niemals dazu gekommen ist, die physiologischen resp. optischen Folgen der merkwürdigen Missbildung des Auges kennen zu lernen.

In Betreff des Zustandekommens des fraglichen Bildungsfehlers standen sich früher zwei Ansichten gegenüber, über welche auch die neueren embryologischen Thatsachen nicht entschieden haben, welche vielmehr beide diese für sich in Anspruch nehmen. Huschke, welcher die Theorie zu begründen suchte, dass eine abnorme unvollständige Theilung des gemeinschaftlichen Augenkeims in der Cyclopie repräsentirt werde, stützte sich dabei auf die von ihm gemachte Beobachtung, dass die erste Anlage eine für beide Augen gemeinsame sei, aus welcher sich erst als zweites Stadium die beiden primären Augenblasen entwickelten. Diese Beobachtung, deren nähere Ausführung in seiner mehrfach citirten Abhandlung über Cyclopie nachzusehen ist, widerspricht jedoch der aller anderen älteren und neueren Embryologen, welche alle eine doppelte Anlage der Sehorgane annehmen. Es kann daher auf jene irrthümliche physiologische Thatsache keine Erklärung für einen pathologischen Zustand gebaut werden, womit eben die Basis für die von jenem Verfasser vorgetragene Genese der Cyclopie hinfällt, da alle anderen dafür geltend gemachten Umstände mindestens eben so kräftig, oder noch mehr für die andere Theorie sprechen, welche in jenem Bildungsfehler das Resultat einer anomalen Verschmelzung eines ursprünglich binären Keimes erkennt, womit natürlich die Cyclopie aus der Klasse der Hemmungsbildungen, wohin sie nach der Huschke'schen Auffassung gehörte, ausgeschlossen ist.

Wenn wir uns nun genauer nach dem Zustandekommen jener supponirten Verschmelzung umsehen, so müssen wir von unserer weiteren Betrachtung eine Kategorie von Cyclopien trennen, die durch Vereinigung zweier Augen zu Stande kommen, welche zwei Individuen angehören, wie sie in der Klasse der Doppelmissgeburten vorkommen, und Diprosopi genannt werden. Bei dem *Diprosopus triophthalmus* (Förster 137 p. 22) sind die heterologen Gesichtshälften so verschmolzen, dass auch die betreffenden Augen zur theilweisen Vereinigung kommen, und dann ungefähr in der Mitte des Doppelgesichts ein Doppelauge erscheint, bei welchem eben auch wieder verschiedene Grade der Vereinigung vorkommen.

Sömmering (138) hat eine Serie von solchen Missgeburten mit zwei Köpfen zusammengestellt, von welchen insbesondere No. III. eine recht weitgediehene Cyclopie darstellt: die grosse, rhombische Lidspalte liegt in der Mitte

des Doppelgesichts, die lateralen Winkel derselben sind wie mediale Canthi geformt, doch fehlen die Karunkeln, die Cornea besteht aus zwei Segmenten von $^2/_3$ des Kreisumfangs, die *Nn. optici* durchbohren 10 Mm. von einander entfernt die hintere Bulbusfläche. Der innere Bulbusraum ist durch ein choroideales Septum in zwei Abtheilungen geschieden, von welchen die rechte etwas grösser ist als die linke, jede übrigens mit vollständigen Hüllen und Inhalt versehen. Auch bei dieser Art von Cyclopie kennzeichnen sich die niederen Grade durch Duplicität des Bulbus bei Vereinigung der Lider und Augenhöhlen.

Nöthigt uns die Entwicklungsgeschichte für die gewöhnliche Cyclopie eine Verschmelzung anzunehmen, da doch die nachher zur primären Augenblase sich umbildenden und abschnürenden Ausstülpungen des Vorderhirns so ziemlich zu beiden Seiten dieses liegen, so fragt es sich, wodurch eine Abweichung von dieser Stellung herbeigeführt werden kann? Wir haben darauf noch keine bestimmte Antwort, doch zwingt uns fast die ständige Abwesenheit der Riechnerven zu der Annahme, dass in einer Verkümmerung des ihnen zugehörigen Gehirntheils der Grund einer anomalen Annäherung der beiden Augenblasen gegeben ist. Es wären also gewisse Partien des Zwischenhirns, welche in ihrer Entwicklung gestört, oder zerstört, aufhörten das zwischen jenen inneliegende Septum zu bilden, wobei dann natürlich auch ihre eigene Production, der *Nervus olfactorius,* im eigentlichen Sinne wie der Opticus kein Nerv, sondern ein Gehirntheil, unentwickelt bleibt. Auf jene Entwicklungsstörungen im Gehirn näher einzugehen, ist hier nicht der Ort, sie haben auf die weitere Ausbildung der Sehorgane keinen allgemein gleichartigen Einfluss.

Je vollständiger die Verschmelzung der Augen vorliegt, um so früher, ist anzunehmen, müssen ihre Anlagen in Berührung gekommen sein, da mit dem Vorschreiten der histologischen Differenzirung eine Verwachsung immer schwieriger zu Stande kommt; ausserdem wird das Endresultat auch davon abhängen, in welcher Ausdehnung die anfängliche Berührung stattfindet, insbesondere wird davon abhängen, ob auch die vordere Abtheilung des Auges eine gemeinschaftliche wird. Was die, übrigens jedenfalls selten vorkommende Einheit der Linse betrifft, auf welche Huschke zu Gunsten seiner Hypothese ein besonderes Gewicht legt, so ist auch hier eine Verwachsung zweier einander berührenden Linsenanlagen natürlich nicht abzuweisen, doch könnte in manchen Fällen sehr früher Verschmelzung der primären Augenblasen auch nur eine Linseneinstülpung an deren vorderer Fläche stattgefunden haben: eine histologische Untersuchung einer solchen einfachen Linse eines Cyclopenauges würde vielleicht über diese Verhältnisse genügenden Aufschluss geben.

Die Verdopplung der Schutzorgane des Auges, deren Entstehung ja viel später fällt, ist wohl weniger von dem Verhalten des Augapfels, als von der durch die Abwesenheit des Siebbeins veranlassten Störung in der Entwicklung des Gesichtsskeletts abhängig. Diese Störung, die sich insbesondere auf das Schicksal des mittleren Stirnlappens bezieht, ist von Dursy (l. c.) einer genauen Untersuchung unterzogen worden, wobei auch die Entstehung der rudimentären Nase, Proboscis, zur Erklärung kommt. Jene Veränderungen des mittleren Stirnlappens für die Cyclopie selbst verantwortlich zu machen, geht nicht an,

da der Grund hierzu jedenfalls in einem viel früheren Entwicklungsstadium gelegt wird.

§ 33. Polyophthalmie, Ectopia oculi. In der älteren Literatur findet sich eine nicht geringe Zahl von Fällen beschrieben, die in späteren Schriften dann immer wieder citirt werden, in welchen an einem Kopf mehr als zwei Augen vorhanden waren, und von denen wieder einige an ganz anderen Körpergegenden sassen, als an der gewöhnlichen Stelle. Alle diese »Naturspiele« verdienen keine weitere Aufmerksamkeit, da man jetzt weiss, dass dieselben entweder Mährchen sind, oder auf ungenauer Beobachtung und unrichtiger Deutung beruhen. Wir wissen jetzt, dass nach den Gesetzen der Entwicklungsgeschichte, welche auch der weitgehendste *Nisus formationis* nicht umkehren kann, an einem Wirbelthier-Individuum nur zwei Augen vorkommen können: ist zur Zeit der Untersuchung nur eines vorhanden, so liegt entweder eine Verschmelzung zweier Keime vor, oder es ist das fehlende während seiner Entwicklung zu Grunde gegangen. Sind mehr als zwei Augen da, so gehören sie zwei Individuen an, welche auf irgend eine Weise mit einander verwachsen sind, wie wir das schon oben bei der diprosopischen Cyclopie gesehen haben; es kann sich dabei auch um eine Reduction des einen Individuums auf einen einzelnen Körpertheil handeln, wie solche ja in grösster Mannigfaltigkeit bei Doppelmissgeburten vorkommen.

Was die Versetzung der Augen, überzähliger namentlich, an andere Körpergegenden anlangt, so ist gegenüber einzelnen seit frühester Zeit darüber vorhandenen Angaben schon von einigen älteren Schriftstellern der Zweifel erhoben worden, ob die verirrten Gebilde auch wirklich Augen waren, oder nur Etwas dem ähnliches, wie manche Beobachter selbst zugeben. (Schenk, Bartholinus — auch Plinius [1]) sagt von seinem berühmten Aegypter, der ein Auge am Hinterkopfe trug, dass er mit diesem nicht habe sehen können.)

Würde uns eine sorgfältige Beobachtung einmal das Vorkommen eines Auges an einer anderen als der gewohnten Stelle (Cyclopie abgerechnet) constatiren, so würde auch hier die Annahme einer Doppelmissgeburt so lange festgehalten werden müssen, bis der Zusammenhang des betreffenden Auges mit den Nervencentralorganen vollständig aufgeklärt wäre. Unter den seither erzählten Beispielen befindet sich aber kein solcher wohlconstatirter Fall, weshalb wir uns mit diesen ectopischen Augen vorderhand nicht weiter zu beschäftigen brauchen.

Zu den geringeren, und in Verbindung mit anderen Missbildungen des Kopfes oder des Bulbus selbst öfters beobachteten angeborenen Ortsanomalien der Augen gehören die bedeutenderen Veränderungen der Distanz beider von einander, deren Bedeutung übrigens mehr eine physiognomische und ethnographische ist, sofern nicht gewisse Einflüsse auf die Bewegungen der Bulbi daraus hervorgehen, von denen in einem andern Kapitel die Rede sein wird. Eine abnorm oberflächliche Lage der Augäpfel, die zu bedeutender Prominenz führen kann, kann ihren Grund haben in einer besondern Vergrösserung resp. Verlängerung derselben (s. Megalophthalmus und Myopie), oder in einer geringen Ent-

1) Hist. nat. lib. XI. c. 52.

wicklung der Lider (scheinbare Prominenz) oder in einer geringen Tiefe der Orbita.

Letztere findet sich häufig bei Mikrocephalen, ist aber Regel bei den sogen. Anencephalen, deren Physiognomie dadurch das charakteristische froschähnliche Aussehen bekommt. Es handelt sich in allen diesen Fällen um eine verkümmerte Entwicklung des Gehirnschädels, an welcher natürlich auch die Orbita, insbesondere mit ihrem Dach betheiligt ist. So sehen wir auch bei jenen hirnlosen Missgeburten, bei welchen das Schädelgewölbe meistens fast ganz fehlt, das Stirnbein verkümmert, und damit auch die Augenhöhle, so dass der grösste Theil des jedenfalls nicht viel vergrösserten Bulbus aus derselben herausragt (*Exophthalmia, Ectopia oculi congenita*).

Im Gegensatz zu obigen mehr oder weniger auf Mikrocephalie zurückzuführenden Verengerungen der Orbita kann eine solche auch veranlasst sein durch ein Hereintreiben des Daches derselben, wie das bei Hydrocephalus vorkommt; auch durch einen solchen, der die noch unfertige Bildung der Augenhöhle beeinflusst, kann eine angeborene Exophthalmie bedingt sein.

§ 34. Mikrophthalmus. Wie für alle anderen Organe, bestehen auch für das Auge des Neugebornen nicht unbedeutende Verschiedenheiten in Bezug auf dessen Grösse und Form, welche alle noch mit einem normalen inneren Bau und einer normalen Function sich vertragen; doch hat die Erfahrung gelehrt, dass eine bedeutendere Ueberschreitung oder ein Zurückbleiben unter den gewöhnlichen Dimensionen mit gewissen anatomischen und physiologischen Abnormitäten fast regelmässig verbunden sind, so dass die »reinen« Fälle von Mikrophthalmus und Megalophthalmus jedenfalls zu den grossen Seltenheiten gehören. Die abnorme Grösse oder Kleinheit ist eben fast immer das Resultat von solchen Störungen in der innern Construction des Augapfels, nicht aber, wie man früher meinte, von einem beliebigen vorzeitigen Abschluss des Wachsthums. Wenn wir die mangelhaften Untersuchungsmittel früherer Zeiten und insbesondere die auch in unseren Tagen mehrfach constatirte Thatsache in Betracht ziehen, dass solche abnorm grosse und abnorm kleine Augen nur in seltenen Fällen ein verhältnissmässig, oder etwa unerwartet gutes Sehvermögen besitzen, so werden uns die in der älteren Literatur aufgeführten Beispiele eines normalen Mikrophthalmus oder Buphthalmus gerechte Zweifel erregen.

Meistens verräth übrigens schon die äussere Form des Bulbus, ja selbst seiner Umgebungen die Abnormität; bei dem Mikrophthalmus, den wir zuerst besprechen wollen, sind meistens schmale, kurze Augenlider, eine niedrige und enge Lidspalte, eine enge Augenhöhle vorhanden.

Die Gestalt des Bulbus zeigt auch für die geringeren Abweichungen in der Grösse — Bulbi von ca. 20 — 26 Mm. — schon gewisse Abweichungen von der Norm, insbesondere findet sich häufig eine Abplattung der unteren Fläche, eine Abflachung der Cornea, oder der ganzen vorderen Bulbushälfte; die höheren Grade haben meistens eine mehr sphärische Form dadurch, dass der Radius der Cornea mit dem der Sklera völlig übereinstimmt. Dazu muss freilich bemerkt werden, dass wir von diesen kugligen erbsengrossen Bulbi keine anatomische Beschreibung besitzen, so dass für viele die Rundung des in der Orbita verborgenen Augapfeltheiles fraglich bleibt. Für die Grössenverhältnisse, die den früheren Beobach-

tern zuerst auffielen, haben dieselben meistens keine Messungen angestellt, sondern zu deren Bezeichnung gewisse Vergleichungen mit bekannten rundlichen Gegenständen gewählt, wie Erbsen, Linsen, Flintenkugeln und dgl. Später vorgenommene Messungen haben dagegen ergeben, dass manchmal die scheinbare Kleinheit viel bedeutender ist, als die wirkliche, woran hauptsächlich die tiefe Lage des Auges in der Orbita die Schuld trägt.

Abgesehen von der Krümmung der Hornhaut, welche bei Mikrophthalmus fast immer eine abnorm geringe ist, ist auch öfter deren Durchsichtigkeit gestört, und zwar fast immer am Rande, so dass manche Autoren von einer Fortsetzung des Skleralgewebes, in Form von Zungen oder Streifen oder auch eines vollständigen Ringes, in die Hornhaut herein sprechen; ein Befund, der dann je nach der angenommenen Ansicht über die Pellucidität der fötalen Cornea zu verschiedenen Deutungen Veranlassung gegeben hat, und von dem auch weiter unten noch die Rede sein wird. Die relative Grösse der Hornhaut zu der des Bulbus wurde verschieden gefunden; es gesellte sich so zu manchem Mikrophthalmus auch eine Mikrocornea. Entsprechend der geringen Wölbung der Hornhaut fand sich die vordere Kammer meistens sehr eng, die Iris weit vorne liegend; auch die Pupille war meist eng mit geringer Reaction. Ihre Form zeigte öfters die wichtige Anomalie eines Coloboms. In einer Reihe von Fällen (Weller, v. Escher, Seiler 1ter Fall, Gescheidt, Schön, v. Graefe, Wilde, Wilson) findet sich ausser einem *Coloboma iridis*, auch eines der Choroidea direkt erwähnt (143), oder aber ein Symptom hervorgehoben, welches uns die Existenz eines solchen sehr nahe legt. Mehrere jener Autoren berichten nehmlich, dass bei gewissen Stellungen der Augen ein eigenthümliches Leuchten derselben bemerkt werden konnte. Wir treffen hier also auf eine Complication, welche nicht eine zufällige, sondern von grösster ätiologischer Bedeutung ist, wie in der Lehre vom *Coloboma oculi* näher auseinander gesetzt worden ist.

Die Krystalllinse ist wohl nur in der geringeren Zahl von Fällen ganz normal gefunden worden, öfters fand man eine geschrumpfte, auch luxirte Cataract.

Ueber den Zustand des Sehnerven werden wir mehr belehrt durch die verzeichneten Sehschärfebefunde, als durch die, wie schon erwähnt, äusserst sparsamen anatomischen Untersuchungen.

In den höheren und höchsten Graden ist von einem Sehvermögen entweder überhaupt nicht die Rede, oder direkt angegeben, dass das betreffende Individuum nicht gesehen habe: für diese Fälle ist dann auch ein Mangel oder eine Atrophie des Opticus mit Bestimmtheit anzunehmen. Von diesen ganz negativen Befunden aufwärts bis zu einer relativ guten Sehschärfe (in dem von v. Graefe untersuchten Falle wurde Jäger No. 4 gelesen, und noch feinere Schrift mit einiger Mühe entziffert) finden sich dann verschiedene Stufen, die jedoch deswegen nur selten genauer präcisirt werden konnten, weil es sich um kleine Kinder handelte. Bei solcher mittelmässigen Sehschärfe kommen dann natürlich die Anomalien in Form und Transparenz der brechenden Medien sehr in Betracht.

Die Beweglichkeit des verkleinerten Bulbus ist immer vorhanden, so dass an der Anwesenheit der Muskeln nicht zu zweifeln ist; häufig werden die Bewegungen als besonders lebhafte geschildert; öfters war Nystagmus vorhanden. Während letzterer hier wie gewöhnlich als ein Begleiter, wahrscheinlich als eine

Folge angeborener Sehschwäche auftritt, sind die bei Mikrophthalmus häufig beobachteten Schielstellungen, sowie der Tiefstand und die geringere Beweglichkeit des oberen Lids wohl weniger direkt einer mangelhaften Entwicklung oder gar dem Fehlen einiger Augenmuskeln zuzuschreiben, als eben der veränderten Form und Kleinheit des Bulbus, wodurch auch die Zugrichtungen und Wirkungen der Muskeln verändert werden. Das gilt vor allem von der Function des *Levator palpebrae*, dessen Contractionseffect durch die mangelhafte Wölbung resp. Spannung des Oberlids wesentlich beeinträchtigt wird, wodurch sich dann die gewöhnliche Complication des Mikrophthalmus: die *Blepharoptosis cong.* leicht erklärt, wozu noch der jenem Muskel in der meistens verengten Lidspalte gesetzte grössere Widerstand hinzukommt.

In einigen Beschreibungen jener Missbildung ist auf besondere damit vorkommende Schädeldeformitäten hingewiesen worden, unter welchen eine höher gradige Schmalheit desselben besonders häufig ist; doch ist, wie v. Ammon selbst sagt, die Häufigkeit dieser Complication nicht so gross, dass ohne weiteres daraus ein Causalitätsverhältniss construirt werden müsste. Möglicherweise handelt es sich dabei allerdings um ein solches, aber, wie in dem einleitenden Paragraphen dieses Kapitels auseinandergesetzt wurde, in einem der gewöhnlichen Annahme gegenüberstehenden Sinne: es hat die geringe Entwicklung der Bulbi zu einer ebensolchen der Orbitae, und diese zu einer Verengerung der vorderen Querdurchmesser des Schädels Veranlassung gegeben.

Die angeborene Kleinheit des Auges hat in älterer Zeit wenig Aufmerksamkeit gefunden, und man hat darum auch wenig Versuche gemacht, dieselbe auf ihre Entstehungsursache zu verfolgen, oder hat sich einfach mit der Erklärung begnügt, dass der Natur bei der Bildung dieses complicirten Organs zu frühe die Triebkraft ausgegangen sei. Gescheidt (145) hat auch hier die genetische Frage zuerst aufgenommen, und auf Grund der ihm damals zu Gebote stehenden embryologischen Kenntnisse gewisse Grade aufgestellt, welche bestimmten Entwicklungsabschnitten des Auges entsprechen sollten.

Für den ersten Grad, der dem Stadium vor Beginn der Irisentwicklung entsprechen sollte, fehlten ihm selbst noch die betreffenden Beobachtungen; der zweite Grad dagegen repäsentirt eine causal nahe verwandte Gruppe, den mit Colobom complicirten Mikrophthalmus, ohne dass übrigens eine Erklärung für das Abhängigkeitsverhältniss beider versucht wird. Aber auch bei des Verfassers drittem Grade sind gewisse Anomalien von Iris und Pupille wahrzunehmen. v. Ammon betrachtet den ersten und zweiten Grad als reine Bildungshemmungen, für den dritten soll sich noch ein pathologischer Einfluss einmischen. Wir können in Bezug auf die Erklärung des angeboren Mikrophthalmus zum Theil auf die Einleitung dieses Kapitels verweisen, woraus hervorgeht, dass auch hier von einem einfachen Stehenbleiben des Auges auf irgend einer früheren Bildungsstufe nicht die Rede sein kann; zum Theil aber ist bei der Lehre vom *Coloboma oculi* gezeigt worden, wie es dabei zu einer Hemmung der Bulbusentwicklung kommt, und dass eben fast in allen gut untersuchten Fällen höheren Grades wenigstens jene Complication vorgefunden wurde. Es bedarf aber nur einer Berücksichtigung der bis auf unsere Tage zusammengestellten Fälle, um sich zu überzeugen, wie häufig darunter das Colobom vermerkt wurde.

Es soll damit nicht gesagt sein, dass der Mikrophthalmus keine andere Ursache haben könne, als das Colobom, es können gewiss noch andere Ereignisse auf die Bildung des Auges, resp. auf sein Grössenwachsthum schädlich einwirken, die uns bei dem geringen antomischen Material, was vorliegt, noch unbekannt geblieben sind. Wenn man aber den abnorm kleinen Bulbus stets nur als einen im Wachsthum zurückgebliebenen ansieht, so liegt schon darin vielleicht ein Irrthum, indem es sich ja auch für manche Fälle wenigstens um einen phthisischen Bulbus handeln könnte. Für eine solche Annahme sprechen aber verschiedene Umstände, von denen ich hier nur die mangelhaft sphärischen Formen, die regressiven geschrumpften Cataracten und die Randtrübungen der Hornhaut, und endlich eine in mehreren Fällen nach der Geburt fortschreitende Degeneration des Auges erwähnen will. Was jene Hornhauttrübungen betrifft, welche man immer als Residuen eines früheren Stadiums angesehen hat, in welchem die Cornea noch den Charakter der Sclerotica besitzen soll, so haben wir in der Entwicklungsgeschichte ein solches Stadium nicht kennen gelernt, und auch v. Ammon meint, dass zu jener Zeit die Hornhaut nur weniger pellucid sei, als später. Jener Annahme entgegen sehen wir aber insbesondere solche zungenförmige Trübungen über den Hornhautrand hereinragen, wenn in Folge innerer Desorganisation eine langsam verlaufende Phthise des Bulbus sich abspielt: diese regressive Bedeutung können sie auch wohl beim angeborenen Mikrophthalmus haben, als Zeichen einer intrauterinen *Atrophia bulbi*, und es wäre somit für gewisse Fälle wenigstens dieser ältere Name gerechtfertigt: er bezeichnete das Resultat einer fötalen Augenkrankheit, welcher, worauf v. Graefe nachdrücklich hingewiesen hat, wohl noch manche andere angeborene Missbildungen zuzuschreiben sind.

Einer solchen, manchmal nach der Geburt noch fortschreitenden Desorganisation gegenüber sind die ganz seltenen Fälle zu erwähnen, bei welchen ein angeboren sehr kleiner Bulbus allmählich nicht nur grösser wurde, sondern auch in einzelnen Theilen der Norm sich mehr und mehr näherte. Solche merkwürdige Fälle haben Pönitz (146), Weller und Gescheidt (145) (derselbe Fall) beschrieben. Im letztern fand der erste Beobachter bei dem sechswöchentlichen Kinde die Augen von der Grösse einer Zuckererbse, das Sehvermögen »leidlich«. Gescheidt sah dieses Kind nach 3 Jahren und fand beide Bulbi viel grösser, der »Längendurchmesser« (?) des rechten betrug etwas über 28, der des linken 19 Mm., dagegen hatte sich die Cornea weder an Grösse noch Wölbung verändert.[1] Eine Vererbung des Mikrophthalmus von Eltern auf Kinder ist nicht beobachtet, auffallend oft dagegen das Vorkommen bei Geschwistern (Pönitz, Fischer, Wutzer, Gescheidt 6ter Fall[2])). Nicht auffallend ist das übrigens nur in einem Fall (Fischer) constatirte Vorkommen von Anophthalmus auf dem einen, Microphthalmus auf dem andern Auge; letzterer scheint sonst immer auf beiden Augen vorzukommen.

---

[1]) Auch Schön (147) hat eine solche Vergrösserung eines bei der Geburt sehr kleinen Bulbus beschrieben, während der andere sich nicht veränderte. v. Ammon Zeitschr. I. 315.

[2]) Gescheidt l. c.

§ 35. Megalophthalmus. Wie eine bedeutende Kleinheit des Auges fast immer Structurabweichungen in sich schliesst, so scheint auch eine bedeutende Ueberschreitung der durchschnittlichen Normalmaasse ohne Beeinträchtigung der Form und des inneren Baues nicht vorzukommen. Wenn man die scheinbare Vergrösserung des Bulbus durch sehr oberflächliche Lage (Exophthalmus) sowie eine manchmal auch beim Neugeborenen sich zeigende beträchtliche Verlängerung der sagittalen Axe abrechnet, so ist ein reiner »Megalophthalmus« wohl ebenso selten zu finden, als ein reiner Mikrophthalmus. Die abnorme Vergrösserung ist aber an eine gleichmässigere innere Desorganisation geknüpft, und durch eine analogere Formveränderung charakterisirt, als der letztere. Die innere Desorganisation zeigt sich schon bei oberflächlicher Untersuchung in einer vermehrten Ansammlung und besonders wässrigen Beschaffenheit eines Theils des Bulbusinhalts, ein Zustand, den man deshalb seit lange her als Hydrophthalmus, als Augenwassersucht bezeichnete. Auch die neueren Erfahrungen haben gezeigt, dass in der That eine bedeutende Erweiterung des Augapfels auf dem eben genannten Zustande immer, oder fast immer beruht, und es sind darum Megalophthalmus und Hydrophthalmus meistens identische Benennungen.

Diese Destruction des Auges, welche wir auch im späteren Leben öfters als Folge gewisser Augenentzündungen sich entwickeln sehen, kommt nun nicht so sehr selten als angeborenes Leiden vor, unterscheidet sich aber von anderen Missbildungen dadurch, dass dessen angeborener Status nicht stationär bleibt, sondern später weitere Veränderungen durchmacht, welche zum Ruin des Auges zu führen pflegen. Wir haben also hier eine Augenkrankheit vor uns, welche während des intrauterinen Lebens beginnt, und, wie das auch für einzelne Fälle des Mikrophthalmus gilt, über diese Periode hinaus sich fortsetzt, wozu allerdings die mancherlei traumatischen Einflüsse, welchen ein solcher Bulbus seiner Grösse wegen fortwährend ausgesetzt ist, nicht wenig beitragen.

Die Grösse, welche ein solcher wassersüchtiger Bulbus erreichen kann, ist eine sehr bedeutende, und findet sich manchmal schon bei der Geburt vor, obschon hierüber in den früheren Beschreibungen auch manche Uebertreibungen mit unterlaufen mögen.

Die äussere Form des Auges entfernt sich in bei weitem den meisten Fällen dadurch von der normalen, dass die Ausdehnung in der vorderen Abtheilung eine viel bedeutendere ist, als in der hinteren, weshalb man auch die gewöhnlichere Form *Hydropthalmus anterior* genannt hat; dabei ist jedoch eine bestimmte Abgrenzung nie vorhanden, sofern es sich nicht etwa um eine beschränkte Ectasie der Hornhaut handelt, welche allerdings auch angeboren sein kann.

Während die älteren Beobachter, welche die Vergrösserung auch noch oft genug einem Krebse zuschrieben, oder solche ganz heterogene Dinge mit jener Missbildung verwechselten, besonders die Grösse interessirte, und ihre Berichte sich ausserdem noch über die Menge des ausgeflossenen Wassers aufhalten, ist erst in neuerer Zeit der Hydrophthalmus einer genaueren, namentlich auch durch das Ophthalmoscop unterstützten Untersuchung unterzogen worden, durch welche manche neue, wichtige Eigenschaften desselben bekannt geworden sind, welche uns in den Stand setzen, denselben von verwandten Zuständen zu unterscheiden, und

einen Einblick in sein Wesen gewähren. Die wichtigsten und constantesten Symptome des Hydrophthalmus sind folgende: eine vergrösserte Cornea (Megalocornea), und zwar eine in allen Richtungen vergrösserte; mit dieser Veränderung geht eine Verdünnung dieser Membran einher, nicht, wie ältere Autoren meinten und der Namen Hyperkeratosis andeuten sollte, eine Verdickung des Hornhautgewebes. Dabei finden sich trotz einer scheinbaren grösseren Transparenz gewöhnlich Trübungen, und zwar entweder diffuse, über ihre ganze Oberfläche ausgebreitete, wodurch dieselbe wie angehaucht erscheint, oder circumscripte im Centrum oder am Rande gelegene. Der die Hornhaut umgebende Skleralsaum erscheint durch die Dehnung ebenfalls im hohem Grade verdünnt und darum bläulich durchscheinend. Diese blaue Färbung, natürlich von der unterliegenden Choroidea herrührend, verliert sich mehr gegen den Aequator hin, wo eben auch die Ausdehnung schon eine geringere zu sein pflegt.

Die vordere Kammer ist immer ganz enorm tief, dadurch dass nicht nur die Iris als ein wirkliches Planum sich zeigt, sondern besonders dadurch, dass dieselbe durch eine mächtige Verbreiterung des Cornealsaumes, resp. der Corneaskleralgrenze weiter nach rückwärts gerückt ist.

Die Iris, meist atrophisch, missfarbig, und zwar häufig von einem dunkelgraulichen Kolorit, hat ein eigenthümlich todtes Aussehen. Die mittelweite, oft auch stark dilatirte Pupille reagirt nur sehr träge oder gar nicht. Der ganz besonders breite Schlagschatten, den sie auf der Linse erzeugt, sowie der Mangel aller gewöhnlichen Krümmung lässt vermuthen, dass die Krystalllinse sich nach rückwärts von der Iris entfernt habe; und in der That kann man sich durch schiefe Beleuchtung manchmal von einer recht tiefen hintern Kammer überzeugen; dasselbe Verhältniss verräth auch das in höheren Graden des Uebels fast nie fehlende Irisschlottern.

Die Linse selbst ist nun oft genug kataraktös, und durch Dehnung und Zerreissung der sehr gedehnten *Zonula Zinnii* aus ihrer Lage gerathen: luxirt.

Nicht selten sind Trübungen an ihrer Hinterfläche, welche dann eine sehr tiefe Lage und manchmal durch einen eigenthümlichen Glanz ihren Sitz im Glaskörper oder gar im Fundus zu haben scheinen.

Die Choroidea soll nach Muralt (151) ophthalmoscopisch keine Zeichen von Entzündung verrathen, dagegen enthält der Fundus eine sehr wichtige Erscheinung, auf welche zuerst Horner aufmerksam gemacht hat, und welche von seinem Schüler in allen untersuchten Fällen bestätigt wurde: die Sehnervenexcavation. Schirmer (152) fand dieselbe in einem Falle von angeborner Vergrösserung des Bulbus in hohem Grade entwickelt. Die Existenz dieser, einen abnorm hohen intraocularen Druck zuzuschreibenden Veränderung hat obige Beobachter veranlasst, denselben genauer zu messen, wobei sich denn auch hohe Spannungswerthe ergaben.

Das mit dem angeborenen Hydrophthalmus vorhandene Sehvermögen ist natürlich einmal von dieser Druckatrophie der Papille, sodann von dem Zustand der brechenden Medien abhängig und darum ein sehr verschiedenes, sowohl in Bezug auf die Sehschärfe als das Gesichtsfeld. Die wegen starker Prominenz der Bulbi erwartete Myopie ist wohl fast immer eine Amblyopie, und jene nicht vorhanden, da die Vergrösserung des Bulbus, wie erwähnt, nur wenig in sagittaler

Richtung erfolgt, und der Effect einer solchen durch die geringere Hornhautkrümmung, sowie die tiefe Lage der Linse ganz oder zum Theil corrigirt wird.

Der *Hydrophthalmus congen.* kann nur auf einem Auge vorhanden sein, doch besteht er meistens bei der Geburt schon auf beiden: die weiteren Veränderungen, welche ein solcher Bulbus später noch durchmacht, unterscheiden sich nicht von dem gleichen Schicksal eines erst später durch irgend eine Ursache wassersüchtig gewordenen Auges, und sollen daher hier nicht weiter verfolgt werden.

Auffallend in Bezug auf den Verlauf der Krankheit bleibt es immerhin, dass, und dies gilt vorzugsweise für die angeborenen Formen, die Ectasie sich so lange Zeit nur auf die vordere Augenabtheilung beschränkt, während die Wandungen der hinteren selbstverständlich, und wie eben die Excavation der Papille zeigt, unter demselben hohen Druck stehen, ohne durch bedeutendere Stärke diesem besser entgegenwirken zu können: es setzt somit, wie es scheint, die Entstehung des *Hydrophthalmus ant.* eine geringe Resistenz der vorderen Bulbuswandung: Hornhaut und angrenzende Sklera als Grundlage voraus, ein Umstand, welcher eine Berechtigung gibt, jenes Leiden unter die Bildungsfehler zu stellen, gegenüber einer anderen Auffassung, wonach dasselbe einfach als Grund einer fötalen Augenkrankheit angesehen wird (v. Graefe). Wodurch eine solche geminderte Resistenz der neugebildeten Cornea bedingt wäre, hat allerdings noch Niemand nachzuweisen versucht, doch wird die Thatsache selbst dadurch etwas wahrscheinlicher, dass man, wie im entwicklungsgeschichtlichen Theil erörtert wurde, die Cornea-Sklera nicht als eine von Anbeginn einheitliche Membran annimmt, sondern für die Ausbildung der vorderen und hinteren Abtheilung der äusseren Augenhülle eine gewisse Unabhängigkeit zulässt. Um die teratologische Natur des *Hydrophthalmus congen.* festzustellen, hält ihm Muralt einige andere Formen von Bulbusvergrösserungen gegenüber, welche ebenfalls oft schon bei der Geburt vorhanden sind, die er jedoch als Resultate intrauteriner Entzündung, speciell einer Iridochoroiditis auffasst, und von welchen er einige Beispiele aufführt. Es bieten sich hier unleugbar bedeutende Differenzen insbesondere mit Bezug auf die Form der Vorderkammer, Gestalt der Pupille, welche meistens die Producte einer Iritis aufweist, so dass an der pathologischen Natur dieser Fälle nicht gezweifelt werden kann; ob aber für den Hydrophthalmus deshalb eine solche ausgeschlossen ist, weil bei diesem das Symptom des intraocularen Drucks so sehr in den Vordergrund tritt, scheint mir doch nicht erwiesen, um so weniger, da ich Gelegenheit hatte, in einem allerdings nicht congenitalen Fall auf dem einen Auge, und zuerst, einen Hydrophthalmus mit allen oben angegebenen Charakteren (auch Excavation), auf dem andern eine Iridochoroiditis mit totaler hinterer Synechie, buckelförmiger bis zur Hornhautberührung reichender Vortreibung der Iris unter einem verminderten intraocularen Druck selbst zu beobachten. Es wäre also immerhin möglich, dass auch in utero eine in der Anlage gleiche Krankheit solche Verschiedenheiten des Verlaufs zeigen könnte. Für die Natur des Hydrophthalmus als Missbildung möchten auch einige Fälle angezogen werden, in welchen dieses Uebel an mehreren Mitgliedern einer Familie beobachtet worden ist: doch sind diese jedenfalls selten; auch das von Gréllois (153) für die Berbern und Juden in Algerien constatirte fast regelmässige Vorkommen kann natürlich nicht für jene Annahme entscheiden; auch bringt der Berichterstatter selbst dafür andere ätiologische Momente, welche eben dort endemisch

sind, in Rechnung, vor allem die elenden hygieinischen Verhältnisse, in welchen jene Leute leben.

Das gleichzeitige Vorkommen von Hydrocephalus und bedeutender Vergrösserung der Augen, wie sie Seiler (83 p. 14) bei einem Fötus vorfand, veranlasste ihn, zur Erklärung des Hydrophthalmus an die in frühesten Entwicklungsstadien offene Communication zwischen Gehirn und Augeninnern zu appelliren, eine Erklärung, welche für so weit entwickelte Bulbi, wie die hydrophthalmischen bei reifen Kindern gewöhnlich sind, nicht gelten kann, da die Persistenz jener Verbindung auf die Bildung des Auges schon sehr frühe und in hohem Grade störend einwirken müsste.

§ 36. Keratoglobus. Sehr nahe verwandt, in der äusseren Erscheinung wenigstens, mit der im vorigen Paragraph geschilderten Missbildung des Auges ist der sogen. Keratoglobus. Angeborene Krümmungsanomalien der Hornhaut kommen nicht selten und in sehr verschiedenen Formen vor: manche derselben sind mit einer Vergrösserung, andere mit einer Verkleinerung der Hornhautoberfläche verbunden. Eine excessive Kleinheit der Cornea kommt übrigens nur sehr selten angeboren vor, und zwar fast immer in Verbindung mit abnormer Kleinheit des ganzen Bulbus. Unter den Krümmungsveränderungen, welche ohne besondere Grössenanomalien angeboren werden, ist vor allen und als ein sehr häufiges Vorkommniss der Astigmatismus zu nennen, von dem in einem anderen Capitel die Rede sein wird. In Bezug auf dessen congenitale Natur mag hier einstweilen nur darauf hingewiesen werden, dass, wie Donders, Javal und neuestens De Wecker hervorheben, eine Complication jener Hornhautverbildung mit gewissen Schiefheiten des Schädels auffallend häufig ist; nach der Angabe des letzteren Autors soll die Richtung dieser Schiefheit, somit die Configuration des Schädels zu der Gattung des Astigmatismus in nächster Beziehung stehen, so dass das Auge resp. die Cornea in derselben Richtung abgeplattet gefunden wird, wie der Schädel.

Dass die Formation der Orbita die des Gesichts- und zum Theil auch Gehirnschädels beeinflusst, dafür haben wir beim Mikrophthalmus schon einen Beleg gefunden; der Einfluss auf die Bildung des Auges könnte möglicherweise ein ähnliches Verhältniss darstellen, wie es zwischen Schädel und Gehirn besteht, nämlich eine gegenseitige formative Einwirkung.

Abweichungen von der normalen Krümmung, welche, gegenüber dem Astigmatismus, die Hornhaut gleichzeitig in allen Meridianen treffen, sind der Keratokonus und der Keratoglobus, beide, früher oft unter den Namen *Hyperkeratosis, Staphyloma corneae pellucidum, Hydrops cam. ant.* etc. zusammengeworfen, zeigen aber in Beziehung auf Entstehung und Verlauf wesentliche Verschiedenheiten. Während die *Cornea conica* meistens erst einige Jahre nach der Geburt, nicht selten im Pubertätsalter sich entwickelt, ist die *Cornea globosa* ein exquisit congenitales Leiden, und verdient hier besprochen zu werden, während jene in einem anderen Capitel unter den Krankheiten der Hornhaut beschrieben werden wird. Was die Form des Keratoglobus betrifft, so haben wir dieselbe im Wesentlichen schon oben beim Hydrophthalmus beschrieben, und wenn wir dazu die dort erwähnte Trübung rechnen, so bildet derselbe eben einen Theil des letzteren Krankheitsbildes. Eine gewisse

Selbstständigkeit gewinnt die Krümmungsanomalie aber dadurch, dass die Hornhaut für immer durchsichtig bleibt. Diese durch die auch hier bestehende Verdünnung noch gesteigerte Transparenz gibt den Augen einen eigenthümlichen Glanz, der manchmal dem einer polirten Stahlplatte ähnelt. Eine solche Cornea ist dann aber gegen die Sklera scharf abgesetzt, es fehlt hier die Verbreiterung der Cornea-Skleralgrenze, weil eben die Ectasie sich ausschliesslich auf jene Membran beschränkt. Die vordere Kammer ist auch hier sehr tief (*Hydrops cam. ant.*); die Linse nach hinten gerückt, und durch Lockerung und Zerreissung der Zonula häufig kataraktös und mobil geworden. Nach Muralt fehlen aber die Zeichen eines vermehrten Drucks und dessen verderblichste Folge: die Excavation der Papille.

Wenn nun auch eine Trennung der *Cornea globosa* und des *Hydrophthalmus ant.* vielleicht in einer grösseren Zahl von Fällen nicht so streng durchzuführen ist, wie jener Autor meint, so ist die Beschränkung der Ectasie zeitlebens auf die Hornhaut doch sehr auffallend, und setzt gewissermassen den Mangel einer Erhöhung des inneren Augendrucks für jenes Beharren, aber auch für das Entstehen als sehr wahrscheinlich voraus, und man wird beinahe zu der Annahme gedrängt, dass der spätere Fehler in einer verminderten Resistenz, d. h. wohl in einer abnormen histologischen ersten Anlage der Hornhaut seinen Grund habe: auch diese Annahme weist übrigens auf eine in gewissem Sinne verschiedene, entweder zeitlich getrennte oder histologisch anfänglich schon differente Entwicklung von Cornea und Sklera hin.

Wie für den Hydrophthalmus ist auch für die Megalocornea ein eigentlich hereditäres Moment bis jetzt nicht mit Sicherheit nachgewiesen, dagegen fand sich dieselbe mehrmals bei Geschwistern, wovon auch jene neueste Publication ein Beispiel enthält; hier waren 3 Brüder mit der Missbildung behaftet, während die Schwester davon frei geblieben war; das auffallendste Beispiel bleibt allerdings der von Jüngken (155 p. 541) erzählte Fall, in welchem 7 Brüder an *Hydrops cam. ant. congen.* litten, während die 2 Schwestern und die Eltern dieser Kinder gesunde Augen hatten.

Eine hochgradige Ectasie von unregelmässiger kugliger Form zeigte die Hornhaut des einen Auges in dem von mir beschriebenen Falle von Kryptophthalmus (S. § 21.)

Angeborene Hornhauttrübungen.

§ 37. Hornhauttrübungen ohne eine der genannten Krümmungsveränderungen sind in mehreren Formen, doch, wie es scheint, im Ganzen selten beobachtet worden.

Wir finden davon zwei Hauptformen verzeichnet: eine totale und eine marginale. Letztere, wegen einer übrigens sehr unvollständigen Analogie mit dem Greisenbogen, Embryotoxon, in einem höheren Grad auch Klaerophthalmus (Kieser) genannte, bildet entweder einen vollständigen Ring, oder einen oberen und untern Halbring, welche sich unmittelbar an die Hornhautgrenze anschliessen und gegen das Hornhautcentrum hin allmählich in die normale Transparenz übergehen; in dem Falle von Kieser, in welchem Mutter und Kind denselben Zustand aufwiesen, war nur eine rhomboidale durchsichtige

Stelle übrig geblieben. Bei der totalen angeborenen Hornhauttrübung ist dieselbe einigemal so intensiv gefunden worden, dass man ein vollständiges Fehlen jener Membran annahm. In der Mehrzahl der Beobachtungen handelt es sich jedoch um eine mehr weniger durchscheinende, bläulich-weisse, emailartige Trübung, deren dichtester Theil in der Mitte der Hornhaut sass, während die Peripherie soweit durchsichtig war, dass man noch die Pupille erkennen konnte (Arlt). In neuerer Zeit hat Z. Laurence (156) durch Bekanntmachung eines Falls von angeborner Hornhauttrübung die Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand gelenkt. Das Kind war zur Zeit, als Laurence es sah, 3 Monate alt; die beiden Corneae waren ausserordentlich gross und hervorragend; ihre Mitte bläulich weiss und feingranulirt, die Peripherien waren ziemlich klar, so dass man Iris und Pupille deutlich sehen konnte; die Bulbusspannung war normal, von Entzündung resp. Vascularisation keine Spur vorhanden. Im Anschluss an diesen Fall, den Verfasser für einen Rest der angeblich normalen fötalen Hornhauttrübung zu halten geneigt ist, erörtert Zehender die Entstehungsfrage, und kommt gestützt auf die v. Ammon'schen Angaben über den fötalen Zustand der Cornea zu der Entscheidung, dass hier nicht eine eigentliche Missbildung (Hemmungsbildung) vorliege, sondern das Resultat einer pathologischen Gewebsveränderung der Cornea in utero, indem er es dahingestellt sein lässt, ob es sich dabei um eine eigentliche Entzündung (*Keratitis interstitialis*) handle.

Der Fall von Laurence betrifft eine getrübte Megalocornea und unterscheidet sich dadurch etwas von den anderen Fällen, in welchen mehrfach sogar eine geringere Prominenz der Hornhäute bemerkt wurde, sowie auch durch den Verlauf. In der Regel nämlich hellen sich diese Trübungen allmählich ganz oder zum Theil auf, und zwar in centripetaler Richtung, in jenem Falle dagegen war nach einem Monat wenigstens noch keine Veränderung eingetreten.

So lange keine Gelegenheit zur anatomischen Untersuchung einer solchen getrübten Cornea gegeben war, musste uns die Natur und Herkunft der Trübung noch dunkel bleiben. Steffen (158), der an den Augen eines frühgeborenen, 12 Wochen nach der Geburt gestorbenen Kindes diese Gelegenheit hatte, fand hinter beiden Hornhäuten, von welchen die linke etwas abgeflacht, die rechte etwas vorgebaucht war, die aber beide eine centrale Trübung hatten, die Linse unmittelbar anliegen, welche letztere im rechten Auge zum grössten Theil vor der schmächtig entwickelten Iris lag. (Vgl. das in § 15 über die Ursachen der Irideremie Gesagte). Steffen meint, dass eine unvollkommene Lösung der Linse vom Hornblatt die normale Bildung der Hornhaut verhindert habe, was auch für andere angeborene Hornhauttrübungen gelten könne, bei welchen jene Trennung nur eine verzögerte gewesen wäre, so dass die Linse doch noch vor der Geburt auf ihren richtigen Platz kam.

§ 38. Die angeborenen Geschwülste des Auges. Unter den angeborenen Augenkrankheiten sind auch die Tumoren in nicht geringer Zahl vertreten. Was ihre Form betrifft, so sind davon allerdings schon sehr verschiedene bei der Geburt vorgefunden worden, und gibt es gewiss keine specifischen congenitalen Geschwülste, doch finden wir in überwiegender Menge solche, welche dem Blutgefässsystem und den Hautdecken angehören. Wir werden hier auf eine nähere Beschreibung derselben nicht eingehen, sondern verweisen damit auf spätere

Capitel; nur möchten wir hervorheben, dass Dermoid- und lipomatöse Geschwülste in Verbindung mit der Hornhaut, Conjunctiva und den Augenlidern nicht zu den congenitalen Seltenheiten gehören, ebenso wenig die als Naevi bekannten abnormen Entwicklungen der Blutgefässe verschiedener Art. Im Allgemeinen ist anzunehmen, dass diese Pseudoplasmen erst den späteren Entwicklungsphasen des Auges angehören, auch ist die Annahme einer traumatischen Ursache wenigstens nicht abzuweisen, wozu natürlich schon eine ungewöhnliche Lage oder Haltung des Fötus gezählt werden muss.[1]) Für die im Innern des Auges vorkommenden Geschwülste, welche in den ersten Monaten nach der Geburt beobachtet werden, entsteht zunächst wohl immer der Zweifel, ob dieselben in ihren Anfängen wenigstens bei der Geburt schon vorhanden waren, da eben jene Anfänge wohl kaum wahrgenommen werden. Wenn die Erfahrung hierbei insbesondere für das Gliom eine vor die Geburt zurückreichende Entstehung in einigen Fällen wahrscheinlich macht, so gilt dies für andere wiederum nicht, und berechtigt keinesfalls, jene Neubildung etwa als eine einfache Hypertrophie der embryonalen Retinakörner anzusehen.

Literaturverzeichniss.

Ueber die ältere Literatur, die angeborenen Augenkrankheiten betreffend, geben die Handbücher der pathologischen Anatomie Auskunft; ausserdem findet sich dieselbe in den unten citirten Arbeiten von Sybel (123), Schön (159), Wilde (150) und Wardrop (160) theilweise verzeichnet; auch in den neuen Lehrbüchern der Augenheilkunde ist darauf einige Rücksicht genommen. Das nachfolgende Verzeichniss enthält nur diejenigen Werke, auf welche im Texte selbst Bezug genommen ist.

Coloboma oculi.

1) Gescheidt, De colobomate iridis. Diss. Dresdae 1831.
2) Fichte, Zur Lehre v. d. angeborenen Missbildungen der Iris. Zeitschr. f. rat. Med. N. F. II. Jhrg. 2. Hf.
3) Cornaz, Des abnormités congéniales des yeux. Lausanne 1848.
4) Talko, Zehender's klin. Monatsh. 1868. p. 119 und 1871 p. 230.
5) Stellwag v. Carion, Die Ophthalmologie v. naturwissensch. Standpunkt. Freiburg 1853—56.
6) Tourtual, Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. 1846.
7) Zeis, v. Ammon's Zeitschr. f. Opththalmologie. V. Bd. p. 81.
8) v. Ammon, dessen Zeitschr. f. Ophthalm. I. Bd. p. 55.
9) Stellwag, Zeitschr. d. Gesellsch. d. Wiener Aerzte 1854 1stes H. p. 17.
10) Stellwag, ibidem. 1854 9tes H. p. 229.
11) Hannover, Das Auge. Leipzig 1852.
12) Arlt, Lehrb. d. Augenheilkunde 1854. II. Bd. p. 122.
13) Arlt, Zeitschr. d. Ges. d. Wiener Aerzte 1858. p. 445.
14) Liebreich, Graefe's Arch. V. Bd. 2. Abth. p. 241.
15) Baeumler, Beitr. z. Lehre v. Coloboma oculi. Würzb. med. Zeitschr. III. p. 72.
16) Hoffmann, Ueber ein Colobom der inneren Augenhäute ohne Colobom d. Iris. Diss. Frankfurt. 1871.
17) Saemisch, Graefe's Arch. XV. Bd. 3 Abth. p. 276.
18) Saemisch, Zehender's kl. Monatsh. V. Jhrg. 1867. p. 85.

---

[1]) Einer solchen Veranlassung verdanken wahrscheinlich die so häufig bei jüngeren Kindern am oberen Orbitalrand beobachteten Atherome ihre Entstehung.

19) v. Ammon, Illustr. mediz. Zeitung. I. Jhrg. p. 819.
20) Talko, Zehender klin. Monatsh. 1870. p. 165.
21) Reich, ebendas. 1872. p. 56.
22) Streatfield, Ophthalmic Hosp. Rep. V. Tom. 1866. p. 79.
23) de Wecker, Zehender's klin. Monatsh. 1872. p. 176.
24) Behr, Heker's Annal. d. ges. Heilkunde. XV. Bd. 4. H. p. 391.
25) Nagel, Graefe's Arch. VI. Bd. 1. H. p. 170.
26) v. Walther, Journ. f. Chirurgie u. Augenheilkunde. III. Bd. 4. H. 1821.
27) J. Müller, v. Ammon's Zeitschr. f. Ophthalmol. I. Bd. p. 230.
28) Fr. Arnold, Unters. i. Gebiete d. Anat. u. Physiol. Zürich. 1838. p. 215.
29) E. Jaeger, Ueber d. Einstellungen d. dioptrischen Apparats etc. Wien 1861
30) Stark, Allgem. Jenaer Literar. Ztg. 1831. April.
31) Huschke, Entwicklungsgeschichte in Sömmering's Anatomie 1844.
32) Hannover, Meckel's Arch. f. Anat. 1845. p. 482.
33) Wallmann, Zeitschr. d. Ges. d. Wiener Aerzte. 1858. p. 446 u. ff.
34) v. Graefe, Graefe's Arch. II. B. 1 Abth. p. 239.
35) Hutchinson, Ophth. Hosp. Rep. IV. p. 276.
36) Hutschinson, ebendas. IV. p. 277.
37) Magnus, Ophthalmoscop. Atlas. Leipzig 1872. Taf. XIV. Fig. 1.
38) Schweigger, Augenheilkunde. Berlin. 1871. p. 36.
39) Rau, v. Ammon's Monatsschr. III. Jhrg. 1.
40) H. Cohn, Ueber Colobom des Auges in Nagel's Jahresbr. pr. 1871.

Irideremie.

41) Gescheidt, Journ. f. Chirurg. d. Augenhlkd. v. Graefe u. Walther XXII. Bd. 2. H.
42) Ruete, Lehrb. d. Ophthalmolog. 2. Aufl. 1854. p. 632.
43) M. Jaeger, v. Ammon's Zeitschr. f. Ophth. V. Bd. p. 10.
44) Sichel, Mydrias. congéniale Gaz. hébdomad. VI. (Schmidt Jb. 103.)
45) Gutbier, Diss. Würzburg. 1834. aus v. Ammon's Zeitschr. V. Bd. p. 78.
46) Henzschel, v. Ammon's Zeitschr. I. Bd. p. 52.
47) Stöber, Iridérémie. Arch. génér. de med. 1831. p. 405.
48) Praël, v. Ammon's Monatsschr. I. Bd. p. 5.
49) Richter, Ber. über d. Prager Augenklinik. 1855—56.
50) Behr, v. Ammon's Zeitschr. f. Ophth. II. Bd. p. 10 u. 78.
51) v. Graefe, dess. Arch. VII. Bd. 2. H. p. 155.

Korectopie, Polykorie.

52) Mooren, Ophthalm. Beobachtungen. Berlin 1867. p. 122.
53) Müller, v. Ammon's Zeitschr. V. Bd. p. 322.
54) Simrok, Würzb. med. Zeitschr. III. Bd. p. 412.
55) v. Ammon, Klin. Darstellungen der Krankheiten u. Bildungsfehler des menschl. Auges. Berlin 1847.

Membrana pupillaris perseverans.

56) Ad. Weber, Graefe's Arch. VIII. Bd. 1. Abth. p. 337 (mit Literaturangaben).
57) Horner, Zehender's klin. Monatsschr. 1864. p. 259.
58) Alfred Graefe, Graefe's Arch. XI. Bd. 1. Abthl. p. 209.
59) Korn, Zehender's klin. Monatsschr. 1867. p. 219.
60) Colsmann, Graefe's Arch. XVIII. Bd. 1. Abth.
61) Cohn, Zeh. Monatsh. 1867. p. 62.
62) Keyser, ebendas. p. 217.
63) Schleicher, Dissert. Bonn 1865.
64) Mooren, Ophthalm. Beobachtungen p. 122.
65) Wharton Jones, Treatise etc. 1865. p. 444.
66) Szokalsky, Zeh. klin. Monatsh. 1871. p. 240.

Arteria hyaloidea persistens.

67) H. Müller, Würzb. Verhandlungen 1856, und Graefe's Arch. II. Bd. 2. Abth.
68) Finkbeiner, Zeitschr. f. wissensch. Zoologie. VI. Bd. p. 330.
69) Meissner, Zeitschr. f. rat. Med. 3te R. I. Bd. p. 562.
70) v. Ammon, Klin. Darstellungen. III. Thl. p. 57.

71) Saemisch, Zeh. klin. Monatsh. 1863. p. 258.
72) Zehender, ebendas. p. 259.
73) Liebreich, ebendas. p. 261.
74) Toussaint, ebendas. p. 350.
75) Stör, ebendas. 1865. p. 24.
76) Laurence, Ophthalmol. Review. 1865. July. p. 173.
77) Mooren, Ophthalm. Beobachtungen. p. 204.
78) Ewers, II. Jahresber. d. Augenheilanst. 1873.
79) Manz, Virch. Arch. 51. Bd. p. 14/15 (Sep.-Abdr.).
80) Liebreich, Transact. of the path. soc. London Tom. XXII. p. 220.
81) de Wecker, Annal. d'oculist. Tom. LIII. p. 65.
82) v. Ammon, Graefe's Arch. IV. Bd. 1. Abth. p. 153.

Angeborene Anomalien des Nervus opt.

83) Seiler, Beobachtungen ursprüngl. Bildungsfehler und gänzlichen Mangels der Augen. Dresden 1833.
84) v. Wahl, De retinae textura in monstro anencephalico disquis. mikroskop. Diss. Dorpat. 1839.
85) All. Burns in J. Wardrop: Essays on morb. anat. of the hum. eye. 1739. Tom. II. p. 162.
86) Sömmering in Blumenbach's med. Biblioth. II. Bd. p. 368.
87) Vesal, De fabrica corp. human. Basler Edit. 1555 (wieder abgedruckt in Dubois u. Reich. Arch. 1870. p. 523).
88) v. Mandach, Beitr. z. Kenntniss d. Epilepsie. Virch. Arch. 57. Bd. p. 237.

Angeborene Lidanomalien.

89) Friderici, Monstra humana rariss. Lips. 1737. p. 10.
90) Fr. Arnold, Anat. u. physiol. Unters. über das Auge des Menschen. 1832. p. 145.
91) W. Zehender, Zehender's klin. Monatsbl. 1872. p. 225.
92) Miram, v. Ammon's Monatsschr. Bd. III.
93) E. Pflüger, Zehender's klin. Monatsbl. 1872. Juli.
94) Horner, ebendas. 1863. p. 190.
95) O. Becker, Wien. med. Wochenschr. 1863. No. 16—18.
96) Manz, Graefe's Arch. XIV. Bd. p. 145.
97) v. Graefe, ebendas. IV. Bd. 2. Abth. p. 269.
98) de Wecker, Knapp u. Moos Arch. für Augen- und Ohrenheilkunde. 1869. p. 126.
99) Mayor, Thèse s. quelque maladies congén. des yeux. Montpellier 1808.
100) v. Ammon, v. Walther u. Ammon's Journal. XXXI. Bd. p. 96.
101) Cunier, Annales d'oculistique. Tom. VII. p. 10. 1842.
102) Beer, Das Auge. Wien 1813. p. 51.
103) Heyfelder, v. Ammon's Zeitschr. f. Ophth. I. Bd. p. 480 u. ebendas. V. 83.
104) W. Seely, Transact. of the Americ. ophth. soc. 1871.
105) v. Ammon, dessen Zeitschr. I. Bd. 4. H.
106) Schön, ebendas. II. B. 1. H.
107) de Wecker, Etudes ophthalm. Paris 1863. Tom. I. p. 619 und p. 684.
108) Sichel in Makenzie, Maladies de l'oeil. 4 ième éd. I. p. 319.
109) Chevillon, ebendas. p. 320.
110) Dieffenbach, Ueber das Schielen u. die Heilung desselben. Berlin 1842.

Angeborene Farbenanomalien.

111) Arcoleo, Sul albinismo, Virch. Jahresber. pro 1871. II. 2.
112) Broca, Bull. de la soc. d'Anthropol. Tom. V. p. 141.
113) Trélat, Dict. encyclop. d. sciences méd. de Déchambre Tom. II. p. 401.
114) Sachs, Hist. nat. duorum Leucaethiop. Diss. 1812. Erlangen.
115) Buzzi, bei Seiler l. c. p. 46.
116) Wiltshire, on the colour of the eyes of the newly born. Lanc. Febr. 1871.
117) Wilde, Rep. on the Progr. of ophth. Surg. pr. 1846. p. 7.
118) Mackenzie, in dessen Maladies de l'oeil. 4 ième éd. Tom. II. p. 510.
119) Hutchinson, Ophthalm. Hosp. Rep. 1869. Nov. p. 277.
120) Beigel, Virch. Arch. 43. Bd. p. 529.

Anophthalmus.

121) Röder, Zehender's klin. Monatsbl. 1863. p. 494.
122) Gradenigo, Annal. d'oculistiq. 64 Bd. p. 174.
123) Sybel, Diss. inaug. Halae 1799. abgedr. in Reil's Arch. V. Bd. 1802. p. 1.
124) Tiedemann, in dessen Zeitschr. f. Physiolog. I. Bd. 1. H.
125) Höderath, Ueber Monophthalmus congenit. Diss. Bonn 1871.
126) v. Walther, Ueber die angeborenen Fetthautgeschwülste u. andere Bildungsfehler. Landshut 1804.
127) Klinkosch, Progr. ad ann. acad. Prag 1766.
128) Rudolphi, Abhdlg. der Berl. Akademie. 1814/15. p. 185.
129) Piringer, Med. Jahrb. d. östr. Staates. N. Folge. Bd. V.
130) J. Müller, v. Ammon's Zeitschr. I. Bd. p. 237.
131) Bartscher, Journ. f. Kinderkrankh. 1855. 7—8.
132) Rau, v. Ammon's Monatschr. III. Bd. 1. H.
133) Gudden, Experimentalunters. über das periph. u. centr. Nervensystem. Arch. f. Psych. II. B. 693.
134) Heinr. Mayer, cit. in Nagel's Jahresber. p. 1870. pro 213.

Cyclopie.

135) Huschke, Müller's Arch. f. Anat. u. Phys. 1832. p. 1—48.
136) Dursy, Zur Entwicklungsgesch. des Kopfes. Tübingen 1869.
137) Förster, Die Missbildungen des Menschen, mit Atlas. Jena 1861.
138) Sömmering, Abbildg. u. Beschreibungen einiger Missgeburten. Mainz 1791.
139) Johnson, Dublin quart. Journ. 1870. No. 99.
140) Carus, Schmidt Jahrb. L Bd. p. 266. 1841.
141) Otto, Lehrb. d. patholog. Anatomie. p. 457. Anm. 10.
142) Ludw. Walther, Journ. f. Chir. u. Augenheilk. v. Graefe u. Walther. N. F. IV. Bd. p. 345.

Mikrophthalmus.

143) v. Graefe, dessen Arch. II. Bd. 1. Abth. p. 239.
144) Gescheidt, Ammon's Zeitschr. f. Ophth. II. Bd. p. 257.
145) Gescheidt, ebendas. I, Bd. p. 551.
146) Pönitz, Dresd. Zeitschr. f. Nat. u. Heilk. II. Jahrg. 5. Hf. 1822.
147) Schön, v. Ammon's Zeitschr. I. Bd. p. 313.
148) Helmholtz, Graefe's Arch. III. Bd. 2. Abth. p. 269.
149) Wilson, Dublin quart. Journ. XCIX. Aug. p. 214.
150) Wilde, Essay on the malformations etc. of the organs of sight. London 1862.

Megalophthalmus etc.

151) Muralt, Ueber Hydrophthalmus congen. Diss. Zürich 1869.
152) Schirmer, Zehender Monatsbl. 1871. p. 250.
153) Gréllois, Sur l'hydrophthalmie Arch. gén. d. méd. 1837.
154) de Wecker, Astigmat. u. Schädelbildung. Zehender's Monatsbl. 1870. p. 161.
155) Jüngken, Handbuch der Augenheilkunde.
156) Laurence, Zehender's Monatsbl. 1863. p. 351.
157) Zehender, ebendas. p. 531.
158) Steffen, Beitr. z. Erklärung angeb. Anomalien der Hornhaut, ebendas. 1867. p. 209.
159) Schön, Hand. d. pathol. Anat. d. menschl. Auges. 1828.
160) Wardrop, Essays on the morb. anat. of the human eye 1808.

Capitel VII.

Organologie des Auges.

Vergleichende Anatomie.

Von

Dr. Rud. Leuckart,
Prof. in Leipzig.

I. Anatomisch-physiologische Uebersicht.

J. Müller, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes des Menschen und der Thiere. Leipzig 1826.

Bergmann und Leuckart, Anatomisch-physiologische Uebersicht des Thierreiches. Stuttgart 1852. S. 264 ff.

Treviranus, Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge. I. Bremen 1828.

Plateau, Sur la vision des poissons et des amphibiens. Mém. cour. par l'Acad. Bruxelles. T. XXIII. (Annales des sc. natur. 1867. T. VII. p. 65.)

Hensen, Ueber den Bau des Schneckenauges. Archiv für mikroscopische Anatomie. Bd. II. S. 416. Vergleichung mit anderen Augen.

§ 1. Die Fähigkeit zu sehen hat die Anwesenheit eines lichtempfindenden Nerven (Sehnerven, *Nervus opticus*) zur ersten und allgemeinsten Voraussetzung.

Was wir mit diesem Namen bezeichnen, ist ein sensibler Hautnerv, der durch gewisse Einrichtungen an seinem peripherischen Ende zur Aufnahme von Lichtwellen geschickt wird. Die durch die Einwirkung der letzteren erzeugten Veränderungen werden mittelst der Nervenfasern zu den Centraltheilen fortgeleitet und hier zur Construction eines Lichteindruckes verarbeitet.

Die besonders in früherer Zeit verbreitete Ansicht, dass schon die gemeinen Hautnerven gelegentlich zum Sehen ausreichten, beruht auf einem Irrthum. Wie der Blinde mit seinen Fingerspitzen nicht sieht, sondern fühlt, so wird auch das augenlose Thier nicht durch das Licht, sondern durch die Einwirkung der mit dem Lichte verbundenen Wärmestrahlen, die es ohne specifische Endorgane an sich aufzunehmen vermag, zur Aenderung seines Standorts oder seiner Lage veranlasst.

§ 2. Die specifischen Einrichtungen am peripherischen Ende des Sehnerven nun sind es, die in ihrer Totalität das Auge zusammensetzen.

In dem Auge des Menschen haben wir durch die vorausgehenden Darstellungen (Bd. I. Th. 1.) ein Gesichtsorgan von grosser Vollendung und ausserordentlicher Leistungfähigkeit kennen gelernt. Aber ein solches hoch entwickeltes Gesichtsorgan ist keineswegs überall bei den Thieren, auch nicht den sehenden Thieren, vorhanden. Schon unter den näheren Verwandten des Menschen (Wirbelthieren) beobachten wir, wie gewisse Nebenapparate (zum Schliessen und Befeuchten des Auges) ausfallen und die Einrichtungen zur Strahlenbrechung und Accommodation sich ändern. Unter den niederen Thieren macht die Vereinfachung des Gesichtsorgans immer weitere Fortschritte. Die Grösse nimmt ab, die Beweglichkeit und Accommodationsfähigkeit geht verloren, die Augenwand schwindet, so dass die einzelnen Theile des Auges, wenn auch räumlich einander angenähert, nur unvollständig gegen die benachbarten Organe sich abgrenzen. Und die Zahl dieser Theile wird immer geringer, bis schliesslich nur noch ein dunkler Pigmentfleck in Verbindung mit dem Sehnerven übrig bleibt, die einfachste Form der Gesichtswerkzeuge repräsentirend.

Die Unterschiede in dem Bau der Augen lassen sich aber nicht sämmtlich unter den Gesichtspunct einer immer zunehmenden Vereinfachung, resp. Vervollkommnung zusammenfassen. Wie wir alsbald näher erörtern werden, ist der anatomische Bau nicht nur, sondern auch der optische verschieden, je nachdem bei der Bildung der Augen das eine oder das andere der hier möglichen Constructionsprincipe in Anwendung gebracht ist.

§ 3. Mit dem anatomischen und optischen Baue ändert sich natürlich auch die Leistungsfähigkeit oder, was so ziemlich dasselbe besagt, der physiologische Werth der Gesichtsorgane.

Wenn wir in Betreff des letzteren zunächst die allgemeinsten Verhältnisse berücksichtigen, dann können wir die Augen der Thiere in solche eintheilen, welche entweder

1) bloss Hell und Dunkel unterscheiden oder

2) daneben noch Bilder sehen.

Die erste Gruppe umfasst die einfachsten Gesichtsorgane, jene, die vornehmlich oder gar ausschliesslich auf einen dunklen Pigmentfleck am Hautende des Gesichtsnerven reducirt sind. Die Lichtstrahlen, die von allen Seiten auf den Pigmentfleck fallen und von demselben aufgenommen werden, erzeugen, wie wir annehmen müssen, in der Substanz des Pigments eine moleculäre Bewegung, die sich dann entweder ohne Weiteres oder durch besondere, den Enden der Nervenfasern anhängende Aufnahmeorgane den letzteren mittheilt und diese in den die Empfindung vermittelnden Erregungszustand versetzt.

Ueber die Natur der Molecularbewegung und der dadurch erregten Empfindung stehen uns blosse Vermuthungen zu. Nach Analogie gewisser Erscheinungen könnte man vielleicht annehmen, dass die verschluckten Lichtstrahlen in Wärme sich umsetzten und als solche zur Perception gelangten. In der That ist das auch eine Ansicht, die schon mehrfach, besonders von englischen Physiologen (Carpenter, Huxley) ausgesprochen wurde, ohne jedoch zu einer allgemeinen Geltung zu gelangen. Nach einer andern Ver-

muthung ruft die Erregung des Nerven auch schon für die hier in Betracht kommenden Thiere eine Lichtempfindung hervor, nur dass diese bei der gleichmässigen Affection des ganzen Pigmentfleckes und der dazu gehörenden aufnehmenden und leitenden Fasern natürlich eine ebenfalls gleichmässige ist.

Da die letztere Annahme diese einfachen Gesichtsorgane den bildersehenden Augen näher rückt, auch nachweislich mancherlei Zwischenformen zwischen den beiden Arten der Sehwerkzeuge existiren, so dürfte sie wohl als die scheinbar natürlichere den Vorzug vor der erstern verdienen.

Je nach der Lichtstärke der den Pigmentfleck afficirenden Strahlen ist natürlich auch der Grad der Reizung und der Perception ein verschiedener. Mag es Licht oder Wärme sein, welches die Thiere mittelst ihrer Augenflecke empfinden, in allen Fällen wird die Intensität der Empfindung dem Gesammtwerthe der Einzeleindrücke parallel gehen. Der lichte Tag mit seinen hell beleuchteten Objecten wird anders wirken, als der trübe Himmel oder gar das Dunkel der Nacht, das die Gesichtsorgane in vollständiger Ruhe lässt.

Trotz der Gleichmässigkeit der jedesmaligen Gesichtsempfindung ist aber schon mit diesen einfachen Mitteln eine gewisse, wenn auch vielleicht nur undeutliche und ganz allgemeine Unterscheidung örtlich verschiedener Lichtpuncte möglich.

Da die senkrechten Strahlen unter sonst gleichen Verhältnissen einen stärkeren Eindruck machen, als jene, die unter spitzem Winkel auffallen, wird das Thier, auch wenn es blosse Augenflecke besitzt, schon im Stande sein, durch Wechsel der Körperstellung die Lage der intensiveren Lichtquelle ausfindig zu machen und von den weniger ergiebigen zu unterscheiden. Selbst eine gleichzeitige Empfindung von Gesichtseindrücken verschiedener Intensität liegt nicht ganz ausserhalb der Möglichkeit. Wir brauchen nur anzunehmen, dass der Augenfleck in Kugelform nach Aussen vorspringt, und in der Richtung seiner Radien mit verschiedener Stärke beleuchtet wird, um solches einzusehen. Kommt es dabei auch immer noch nicht zu der Construction eines Bildes mit scharf begrenzten Lichtpuncten, so entsteht doch eine gewisse Mannichfaltigkeit von Lichteindrücken, die durch die Gleichzeitigkeit ihrer Empfindung dem Thiere eine bessere Orientirung über die Zustände seiner Umgebung gestatten, als es bei der gewöhnlichen Flächenbildung der einfachen Gesichtsorgane zulässig ist. Natürlich wird dabei eine grössere Anzahl isolirt percipirender und leitender Nervenfasern vorausgesetzt, ein Verhalten übrigens, wie es auch sonst wohl in der Regel, wenn nicht ganz allgemein, den Augenflecken zukommt.

Was auf die hier angedeutete Weise nur unvollkommen erzielt wird, die Specification der einzelnen Lichteindrücke, das geschieht nun aber mit einer sehr viel grössern Vollständigkeit und Schärfe vermittelst der Augen, die der oben aufgestellten zweiten Gruppe zugehören. Durch gewisse optische Einrichtungen sind hier die einzelnen Theile des lichtempfindenden Apparates zu Perceptionen befähigt, die von einander unabhängig bleiben und von immer andern Puncten erregt werden. Die einzelnen Lichtpuncte der Umgebung, die bei den einfachen Augenflecken für gewöhnlich alle dieselben Stellen des Sehnerven afficiren und den Eindruck eines mehr oder minder hellen Gesichtsfeldes erzeugen, wirken vermöge jener Einrichtungen immer nur auf bestimmte Territorien, die meist scharf gegen einander sich absetzen, zugleich aber Lagenver-

hältnisse einhalten, welche genau der Gruppirung der erregenden Puncte entsprechen. An die Stelle der allgemeinen Lichtempfindung tritt dann eine Summe von Einzeleindrücken, die durch Intensität und Lage ein Abbild der Umgebung darstellen und als solches von dem Thiere percipirt werden.

Die Bilder, die das Thier sieht, setzen sich demnach in allen Fällen aus einer grösseren Menge von einzelnen Empfindungen zusammen. Sie erscheinen wie Mosaikbilder, deren Stücke je von einem besonderen Eindrucke repräsentirt sind. Und wie das Mosaikbild um so mehr ins Detail malt, je kleiner und zahlreicher die Stücke werden, die es zusammensetzen, so richtet sich auch die Specification des Gesichtsbildes nach der jedesmaligen Grösse und Menge der empfindenden Territorien. Wie ganz anders wird das Thier von den Zuständen seiner Umgebung sich unterrichten können, wenn das Bild, das es davon entwirft, statt aus wenigen Dutzenden sich aus vielen Tausenden und Hunderttausenden von Einzelpuncten aufbaut, wenn schliesslich die Zahl dieser Empfindungspuncte so gross wird, dass sie eben so wenig, wie die Farbemolecüle eines gemalten Bildes, noch als einzelne räumlich begrenzte Puncte sich unterscheiden lassen. Und solch ein Bild ist es, das die höhern Thiere, das wir selbst mit unsern Augen zur Wahrnehmung bringen.

§ 4. Die Fähigkeit distincte Bilder zu sehen, knüpft also an Einrichtungen an, durch die es möglich wird, die einzelnen Lichtpuncte der Umgebung von einander zu sondern und in regelmässiger Ordnung auf einzelne Puncte des Sehnerven wirken zu lassen. Solcher Einrichtungen giebt es mehrere, dreierlei, so viel wir wissen, und sie alle finden wir, wenn auch in verschiedener Häufigkeit, bei der Construction der bildersehenden Augen in der Thierwelt verwerthet.

A. Die eine dieser Einrichtungen, in gewisser Beziehung die einfachste und unvollkommenste, ist diejenige, welche J. Müller zum ersten Male in seinem berühmten Werke zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes für die sog. musivisch zusammengesetzten Augen der Insecten und Krebse in Anspruch genommen hat.[1]) Eigentlich nur eine weitere Entwicklung der bei Gelegenheit der einfachen Augenflecke zuletzt beschriebenen Form, erscheint das Gesichtsorgan dieser Thiere als ein halbkugliges Gebilde, dessen peripherische Pigmentschicht in radiärer Richtung der Art von den Sehnervenfasern durchzogen wird, dass diese einzeln oder auch vielleicht strangweise davon scheidenförmig bis auf das percipirende Endstück umhüllt sind. Nicht selten ragt der Rand der Pigmentscheiden noch mehr oder minder weit über diese Nervenenden nach Aussen hervor, so dass letztere dann in der Tiefe eines pigmentirten Grübchens zu liegen kommen und nur von den senkrecht d. h. in radiärer Richtung einfallenden Strahlen afficirt werden können, da die seitlichen Strahlen von dem Pigmente absorbirt werden. Auf diese Weise wird also der Punct *a* der nebenstehenden Figur 1, obwohl er vielleicht die ganze Vorderfläche des Auges oder doch einen grösseren Theil derselben beleuchtet, doch nur in der Richtung des Strahles

1) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes, Leipzig 1826 S. 337 ff.; Handbuch der Physiologie des Menschen Bd. II. 1840. S. 279.

ab zur Perception gelangen, also nur von demjenigen Augenpuncte gesehen werden, dem er in radialer Verlängerung gegenüberliegt. Gleiches gilt von dem Puncte *c*, der nur durch den Strahl *cd* auf den empfindenden Apparat einwirkt u. s. w.

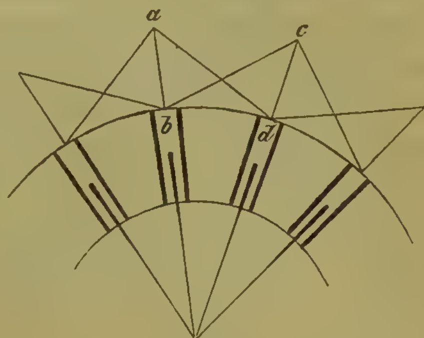


Fig. 1.

Je vollständiger die Seitenstrahlen von der Perception ausgeschlossen sind, desto schärfer werden sich auch die Gesichtsfelder der einzelnen Territorien gegen einander absetzen und ein Gesammtbild herstellen, dessen Lichtpuncte mosaikartig die einzelnen neben einander liegenden Theilstücke der Licht ausstrahlenden Umgebung wiederholen. Dass die einzelnen Puncte des Bildes, weil nur von den Achsenstrahlen erzeugt, eine im Ganzen nur geringe Lichtstärke besitzen, wird man freilich zugeben müssen, doch wird letztere immerhin noch, besonders für die näheren Gegenstände, zu einem deutlichen Sehen ausreichen.

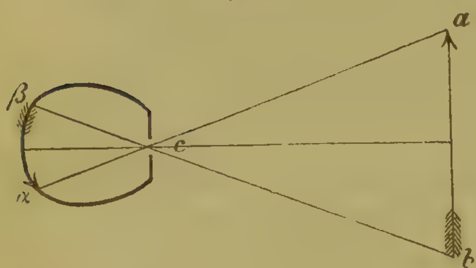
Ein Auge, wie das hier geschilderte, sieht natürlich gleichzeitig in die Ferne sowohl, wie in die Nähe. Es sieht Alles, was in der Richtung seiner Radien liegt, mag es in beträchtlicher Weite von dem Auge abstehen, oder demselben nahe gerückt sein. Nur dass das Detail der Gegenstände und die Lichtstärke bei verschiedener Entfernung entsprechend verschieden ist.

Es giebt aber auch Augen dieser Art, die eine bestimmte, je nach Umständen wechselnde Sehweite besitzen, Augen also, die mit einem Accommodationsvermögen ausgestattet sind. Solche Augen besitzen in einiger Entfernung vor den lichtempfindenden Territorien je noch eine Sammellinse (entweder ein linsenartig verdicktes Segment der äussern Augenhaut, oder einen dahinter gelegenen Krystallkegel, oder auch beides), die den Lichtkegel des zugehörigen Achsenstrahls in einem Puncte concentrirt und diesen dann auf das percipirende Nervenende wirken lässt. Die grössere Menge der Lichtstrahlen, die dabei — immer aber nur von demselben Puncte ausgehend — auf den Nerven einwirkt, wird natürlich vorzugsweise den lichtarmen, fernen Objecten zu Gute kommen. Solche musivisch zusammengesetzte Augen mit Sammellinsen (musivisch dioptrische Augen) besitzen also den Vorzug einer gewissen Weitsichtigkeit. Um die Vortheile dieser Einrichtung jedoch vollständig auszunutzen, muss die Concentration des Strahlenkegels in jedem einzelnen Falle mit dem percipirenden Ende der Sehnervenfaser zusammenfallen. Es muss dieses Ende mit andern Worten in dem Brennpuncte der zugehörigen Linse liegen. Da nun aber die Brennweite einer Linse nach der Entfernung der leuchtenden Objecte variirt, für ferne Gegenstände mit parallelen Strahlen kürzer ist, als für die divergirenden Strahlen naher Lichtpuncte, so müssen die betreffenden Thiere auch die Fähigkeit besitzen, den Abstand der Sammellinse von dem Sehnervenende nach den Umständen zu verändern. Und so ist es auch. Man findet in der Pigmentscheide derselben ganz unverkennbare Muskelfasern, die in der Längsrichtung nach der Linse zu hinlaufen und im Augenblicke der Contraction das Nervenende mehr oder minder weit nach vorn ziehen. Das bis dahin für die Nähe eingestellte Auge wird mittelst dieser Veränderung zu einem fernen Sehen geschickt, bis bei

Nachlassen der Muskelcontraction die elastischen Druckkräfte das frühere Lagenverhältniss wieder herstellen.

B. Die zweite Einrichtung zum Entwerfen eines distincten Bildes besteht in einer D u n k e l k a m m e r, in die das L i c h t n u r d u r c h e i n e e i n z i g e k l e i n e O e f f n u n g e i n t r i t t. Die einzelnen Puncte der Umgebung werfen dann durch diese Oeffnung — vorausgesetzt, dass sie klein genug ist — immer nur einen einzigen Strahl, der natürlich auch nur einen einzigen Punct der gegenüberliegenden Wand erleuchtet. Der Lichtpunct *a* (Fig. 2) wird dabei in *α*, *b* in *β* abgespiegelt; es entsteht mit anderen Worten an der Hinterwand der Dunkelkammer ein umgekehrtes Bild der Umgebung, dessen jedesmalige Grösse theils durch die Winkelweite *acb*, d. h. Grösse und Entfernung des betreffenden Objectes, theils auch durch den Abstand der Rückwand von der Durchlassöffnung bestimmt wird. Ist dieser Abstand genau so gross, wie die Entfernung des Objectes von der Dunkelkammer, dann hat das Bild auch genau die Grösse des letztern, wogegen es bei Annäherung des Objectes wächst, bei zunehmender Entfernung aber immer mehr sich verkleinert. Damit die einzelnen Theilstücke des Objectes in dem Bilde ihre relativen Grössenverhältnisse beibehalten, ist es also nöthig, dass die davon ausgehenden Strahlen die gleiche Länge besitzen. Die das Bild auffangende Rückwand der Dunkelkammer wird demnach am besten eine concave Flächenkrümmung besitzen, und das namentlich dann, wenn der Apparat zur Aufnahme naher Gegenstände Verwendung finden soll.

Fig. 2.



Die geringe Lichtstärke des Bildes, die nothwendige Folge der Beschränkung der von den einzelnen Lichtpuncten ausgehenden Strahlen auf einen einzigen, bringt es übrigens mit sich, dass der Gebrauch dieser Dunkelkammer mehr für die Nähe, als die Ferne sich eignet, das Bild also nicht in allzugrosser Entfernung hinter der Einlassöffnung aufgefangen werden darf. Durch Erweiterung der letztern lässt sich allerdings die Menge der durchfallenden Strahlen und damit dann auch die Helligkeit des Bildes vermehren, allein gleichzeitig wird sich auf der Hinterwand der Kammer statt der Puncte *α*, *β* dann ein Durchschnitt der von *a*, *b* jetzt einfallenden Strahlenkegel entwerfen, die scharfe Begrenzung der einzelnen Lichtpuncte und damit zugleich die Deutlichkeit des Bildes also aufhören. Und das muss um so mehr der Fall sein, je grösser mit zunehmendem Durchmesser des Loches die Durchschnitte der Lichtkegel werden und jemehr dieselben mit ihren Rändern über einander greifen. Ueberschreitet das Loch schliesslich eine gewisse Grösse, dann werden die Lichtkegel der einzelnen Puncte im Grunde der Dunkelkammer sämmtlich zu einem gleichmässig erleuchteten Felde zusammenfliessen.

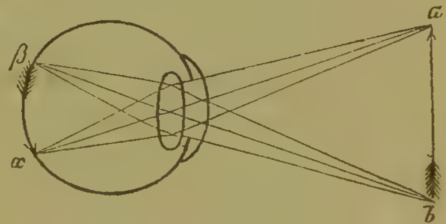
Soll dieses Princip des kleinsten Loches bei der Construction eines Gesichtsorganes zu Grunde gelegt werden, und wir haben wirklich in dem sonderbaren Cephalopodengenus Nautilus eine Thierform kennen gelernt, bei der das der Fall ist, dann müssen die lichtempfindenden Enden der Sehnervenfasern in der Ebene des Bildes flächenhaft zu einer sog. Netzhaut, *Retina*, neben einander geordnet sein. Da nun aber die Ausdehnung dieser Ebene schon in geringer Entfernung

hinter der Einlassöffnung eine beträchtlich grosse ist, so wird es möglich sein, darin eine sehr beträchtliche Anzahl solcher percipirender Endstücke zu vereinigen, das Bild also durch eine viel bedeutendere Menge einzelner Empfindungspuncte zur Anschauung zu bringen, als das die musivische Einrichtung der Gesichtsorgane — falls diese nicht eben zu einer sehr beträchtlichen Grösse heranwachsen würden — gestattet.

Doch die geringe Lichtstärke des Augenbildes setzt der Vergrösserung desselben und damit denn auch überhaupt der Verwendung des hier erörterten Principes eine ziemlich enge Begrenzung. Ausser dem schon oben erwähnten Falle von Nautilus kenne ich kein zweites Beispiel eines derartigen Gesichtsapparates. Und auch dieser eine Fall ist erst in der neuesten Zeit ausser Zweifel gestellt worden, so dass bis dahin die Annahme von J. Müller u. A. galt, nach der die betreffende Einrichtung in den Gesichtswerkzeugen der Thiere überhaupt nicht repräsentirt sei.

C. Als dritte Form der bildersehenden Augen haben wir schliesslich die Dunkelkammer mit Sammellinse in der zum Einlassen des Lichtes bestimmten Oeffnung hervorzuheben, die Augen also, die, wie das bekanntlich bei der grossen Mehrzahl der Thiere der Fall ist, nach dem Principe der gewöhnlichen Camera obscura gebaut sind (Augen mit dioptrisch collectiven Medien J. Müller).

Fig. 3.



Durch die Einschaltung einer Linse wird (Fig. 3) die Möglichkeit gegeben, ausser den von den einzelnen Lichtpuncten ausgehenden Achsenstrahlen noch eine grössere Anzahl von Strahlen, so viel deren auf die Linsenfläche auffallen, zur Entwerfung des Lichtbildes herbeizuziehen und dadurch die Lichtstärke desselben beträchtlich zu erhöhen. Es hat dieses Bild, das natürlich gleichfalls auf eine flächenhaft angeordnete concave Sehhaut fällt, im Wesentlichen die Eigenschaften des frühern, so dass sich diese dritte Form der Augen von der zweiten kaum mehr unterscheidet, als die musivisch dioptrischen Gesichtswerkzeuge mit Linsen von den einfach musivischen.

Da die Sammlung divergirender Strahlen mittelst einer Linse aber immer nur, wie schon für die letztgenannten Augen bemerkt ist, in dem Brennpuncte geschieht, dessen Abstand mit der Annäherung der Lichtquelle wächst, so lassen sich mit Hülfe derselben natürlich immer nur solche Bilder sehen, deren Gegenstände in gleicher Entfernung vor dem Auge gelegen sind. Die Augen mit dioptrisch collectiven Medien sind also ausser Stande, gleichzeitig nahe und ferne Gegenstände deutlich zu erkennen. Dabei ist jedoch die Möglichkeit einer Adaptation nicht ausgeschlossen. Sie geschieht je nach Umständen dadurch, dass entweder der Abstand der Linse von der Netzhaut, der die Brennweite repräsentirt, durch einen geeigneten Mechanismus sich verringert resp. wiederum vergrössert, oder dass bei gleich bleibendem Abstand die Brechungskraft der Linse durch eine bald stärkere, bald auch geringere Flächenkrümmung eine den jedesmaligen Verhältnissen entsprechende Aenderung erleidet. Wir werden uns später davon überzeugen, dass diese beiden Formen der Anpassung, die erstere so gut,

wie die zweite, in den Augen, die hier uns interessiren, ihre Anwendung gefunden haben.

Bei der ersteren dieser Anpassungsformen ist das Auge während der Ruhe gewöhnlich für die Nähe, bei der andern dagegen für die Ferne eingestellt, so dass dann für die Nähe adaptirt wird. So ist es z. B. bei uns und den höheren Wirbelthieren. Aber die Adaptationsfähigkeit hat ihre Grenze, wie wir aus eigner Erfahrung wissen, da wir die Gegenstände, die über die sog. normale Sehweite (etwa 8″) hinaus dem Auge genähert werden, nicht mehr deutlich zu erkennen vermögen, und um so weniger deutlich, je grösser die Annäherung ist. Die Focalweite solcher nahen Gegenstände fällt auch nach der Adaptation noch über die Sehhaut hinaus, so dass statt der einzelnen Lichtpuncte des Bildes nur die Durchschnitte der Lichtkegel, sog. Zerstreungskreise, gesehen werden.

Kein Zweifel, dass das auch bei den verwandten Geschöpfen so ist, obwohl die Grenzen des deutlichen Sehens sicherlich vielfach variiren und besonders bei den kleineren Thieren, die doch die Thätigkeit ihrer Greif- und Bewegungsorgane immer noch mit den Augen controliren, voraussichtlich sehr viel näher liegen, als das bei uns der Fall ist.

Auch die Adaptationsfähigkeit für die Ferne ist keineswegs in allen Fällen die gleiche. Wir können das schon dem Umstande entnehmen, dass es Augen giebt, die überhaupt nur für das nahe und nächste Sehen eingerichtet sind, Augen also, in denen jene Fähigkeit vollständig verloren gegangen oder, wenn man lieber will, noch nicht entwickelt ist.

Da die nahen Gegenstände, die mit solchen Augen ausschliesslich gesehen werden, nun aber ein grosses Lichtbild entwerfen, so genügt es in solchen Fällen, dass Linse und Netzhaut durch einen nur unbedeutenden Abstand von einander getrennt sind. Kurzsichtige Augen sind daher klein und mit einer stark gewölbten, meist kugligen Linse versehen, deren Brechungskraft gross genug ist, auf der Sehhaut, die natürlich stets in der Focalweite gelegen sein muss, wenn überhaupt ein deutliches Sehen stattfinden soll, trotz ihrer Annäherung ein scharfes Bild zu erzeugen.

Umgekehrt verhalten sich natürlich die Augen, die auch die fernen Gegenstände mit einigem Detail dem Thiere zuführen. Für solche muss der Abstand von Linse und Sehhaut möglichst gross sein, da ferne Gegenstände nur unter dieser Bedingung ein leidlich grosses d. h. specificirtes Bild liefern. Die Linsen dieser Augen sind gewöhnlich schwächer gekrümmt, in der Richtung der optischen Achse zusammengedrückt, und immer von einem geringern Brechungsvermögen, so dass der Brennpunct trotz des grössern Abstandes auch hier auf die Sehhaut fällt.

Es ist übrigens durchaus nicht nöthig, dass die Strahlenbrechung, die das Lichtbild erzeugt, immer nur von einer einfachen Linse ausgeht. Neben ihr können auch noch andere dioptrische Medien in den Augen vorhanden sein und je nach Umständen mehr oder weniger sich bei dem Zustandekommen dieses Bildes betheiligen. So ist der Raum zwischen Linse und Sehhaut, wie auch der zwischen Linse und vorderer Augenwand, wenn ein solcher vorhanden, mit einer hellen Flüssigkeit gefüllt, die auf den Gang der Lichtstrahlen einwirkt. Aber der dioptrische Werth dieser Massen ist verhältnissmässig nur gering, so dass wir den Einfluss derselben für unsere Zwecke ausser Acht lassen können. An-

ders jedoch verhält es sich mit der sog. durchsichtigen Hornhaut (*Cornea*), die bei den Thieren mit besonderer Augenwand vor der Linse hinzieht und nicht selten einen eben so grossen und noch bedeutenderen Antheil an der Herstellung des Sehhautbildes hat, wie die Linse selbst. Allerdings sind es nur die landbewohnenden Thiere, bei denen solches der Fall ist, allein es erklärt sich das zur Genüge aus der im Ganzen nur geringen Brechungskraft, welche der Substanz der Hornhaut innewohnt. Da ein Körper auch bei stärkster Oberflächenkrümmung nur dann als Linse wirkt, wenn er ein grösseres Lichtbrechungsvermögen besitzt als seine Umgebung, so kann die Hornhaut, deren Brechungsgrad über den des Wassers kaum hinausgeht, bei den Wasserthieren auf den Gang der Lichtstrahlen kaum beträchtlicher einwirken, als es der Wassertropfen thut, der in der Luft bekanntlich gleichfalls eine starke Sammellinse darstellt.

§ 5. Bei der hohen Bedeutung, welche die Gesichtsorgane für das Thier besitzen, erscheint es begreiflich, dass dieselben sehr allgemein, von allen specifischen Sinneswerkzeugen vielleicht am weitesten verbreitet sind. Es giebt nur wenige Gruppen des Thiersystemes, denen dieselben vollständig abgehen, und zahlreiche andere, deren Repräsentanten fast ausnahmslos damit versehen sind.

Zu diesen letztern gehören vornämlich die Abtheilungen der Wirbelthiere und Gliederfüssler (Arthropoden), diejenigen Thiere also, die durch die Mannichfaltigkeit, den Umfang und die Energie ihrer Leistungen, besonders der Bewegung, vor allen übrigen sich auszeichnen. Halten wir damit die Thatsache zusammen, dass die blinden Thiere in fast allen Fällen solche sind, welche entweder, wie die Eingeweidewürmer, die Höhlenbewohner und Tiefenthiere, in beständigem Dunkel leben, oder eine sehr beschränkte und langsame Bewegung besitzen (Muscheln, Echinodermen), derselben auch vielleicht völlig entbehren (Polypen), dann kann es nicht länger zweifelhaft sein, dass das Vorkommen der Augen mit den jedesmaligen Lebensverhältnissen, mit dem Aufenthalte und den Leistungen der Thiere, in inniger Beziehung steht.

Am evidentesten ist dieser Zusammenhang in denjenigen Fällen, in denen sonst ganz nahestehende Arten oder gar dieselben Thiere in den verschiedenen Stadien ihrer Entwicklung je nach den Eigenthümlichkeiten ihrer Lebensform bald mit Augen versehen sind, bald auch derselben entbehren. Es genügt hier der blinden Krebse, Käfer und Spinnen zu gedenken, die mit zahlreichen anderen gleichfalls blinden Thieren verschiedener Verwandtschaft die Höhlen und unterirdischen Gewässer bewohnen, oder an die Metamorphose der Schmarotzerkrebse, der Cirripedien, Muschelthiere und Röhrenwürmer zu erinnern, die beim Uebergange in den definitiven Zustand mit den Larvenorganen zugleich die Augen verlieren, unter deren Controle sie in der ersten Zeit ihres Lebens eine freie Ortsbewegung übten.

Und nicht bloss das Vorkommen der Augen, auch die jedesmalige Entwicklung derselben und das Sehvermögen, das davon abhängt, zeigt diesen Zusammenhang in unverkennbarer Weise. Oder wollte man in Abrede stellen, dass die Unterschiede in dem Bau und dem optischen Werthe der Augen bei Vögeln und Fischen, bei Cephalopoden und Schnecken, bei schwimmenden und kriechenden Würmern

den Unterschieden entsprechen, welche die Lebensverhältnisse dieser Thiere darbieten? Kann man verkennen, dass es zunächst und vorzugsweise der verschiedene Grad der Beweglichkeit ist, mit dem die jedesmalige Ausbildung des Sehvermögens Hand in Hand geht?

Und wenn wir es nicht mit zahllosen Beispielen belegen könnten, dieses Correlationsverhältniss zwischen der Bewegungsweise und dem Sehvermögen der Thiere, dann würden wir im Stande sein, es aus der Natur der Gesichtswahrnehmungen von vorn herein als eine physiologische Nothwendigkeit zu erschliessen.

Durch Hülfe der Augen orientirt sich das Thier über die physikalische Beschaffenheit seiner Umgebung. Es durchmisst damit den Raum, in den es rascher oder langsamer, je nach den Umständen, durch seine Bewegungskräfte eingeführt wird, und unterscheidet die Gegenstände, die denselben ausfüllen. Jemehr die Beweglichkeit steigt und die Mannichfaltigkeit der Beziehungen zu den Aussendingen zunimmt, desto zwingender wird das Bedürfniss einer genauen und umfangreichen Orientirung. Während das langsame Thier schon befriedigt ist, wenn es die Objecte seiner nächsten Umgebung mit leidlicher Genauigkeit wahrnimmt, muss das rasch bewegliche Thier ausser den nahen auch noch die fernen Gegenstände unterscheiden und die Eigenschaften derselben sich zur Anschauung bringen. Im Gegensatze zu dem erstern bedarf es also nicht bloss solcher Gesichtsorgane, die ein Sehen schlechterdings erlauben, sondern weiter auch aller jener Einrichtungen, die das Sehvermögen schärfen und das Auge für die verschiedensten Entfernungen accommodiren.

Bei der Unterscheidung von raschen und langsamen Thieren handelt es sich in unserm Falle natürlich um das absolute Maass der Bewegung. Es ist die Länge des in gegebener Zeit durchlaufenen Weges und nicht das dabei erzielte etwaige Multiplum der Körperlänge, das die Schnelligkeit bestimmt. Da das grosse Thier nun aber bei einer relativ gleichen Beweglichkeit schneller den Raum durchmisst, als das kleine, so ergiebt sich eine Beziehung der Augen und der Sehfähigkeit auch zu der Körpergrösse, eine Beziehung, die es uns z. B. verständlich macht, dass die Wirbelthiere in Bau und Leistungsfähigkeit der Augen sich ganz anders verhalten, wie die Arthropoden, obwohl wir doch beide oben in Rücksicht der Schnelligkeit und Mannichfaltigkeit ihrer Bewegung einander gleichgestellt haben. Dazu kommt, dass das kleine Thier, wie schon bei einer frühern Gelegenheit bemerkt ist (S. 152), auch deshalb eine je nach den Verhältnissen mehr oder minder abweichende Bildung seiner Gesichtsorgane besitzen muss, weil es genöthigt ist, die Gegenstände, die es seiner Behandlung unterzieht, dem Körper mehr anzunähern, als das grössere. Es muss demnach die Fähigkeit haben, noch in grössester Nähe deutlich zu sehen, und kann das vielleicht nur unter Voraussetzungen realisiren, die anderweitige Leistungen (z. B. die einer weitgehenden Anpassung) in mehr oder minder hohem Grade beeinträchtigen.

Dass übrigens ausser der Körpergrösse und der Beweglichkeit, ausser jenen Factoren also, die mit dem Thiere selbst gegeben sind, auch die Verhältnisse der Umgebung in der Bildung der Augen ihren Ausdruck finden, wird schon durch den Umstand erwiesen, dass Thiere, die für gewöhnlich im Dunkeln leben, entweder — und so in der Regel — der Gesichtswerkzeuge vollständig entbehren oder doch nur rudimentäre Augen besitzen, die klein und von dicker Haut

überzogen, wie sie sind (z. B. bei dem Maulwurf, dem Kiemensalamander der Adelsberger Grotte oder den blinden Fischen der Mammuthshöhle), höchstens einen schwachen Lichteindruck zu empfinden vermögen.

Ein bloss relativer Lichtmangel lässt sich schon durch Einrichtungen corrigiren, die eine reichere Lichtzufuhr ermöglichen. Die Dämmerungsthiere und die Fische, besonders die in einiger Tiefe lebenden, haben demgemäss auch Augen mit weit durchsichtiger Hornhaut, die einen Lichtkegel von ansehnlichem Querschnitt hindurchlässt. Wie bei den verwandten Thieren findet sich dahinter freilich eine ringförmige Blendung (*Iris*), die je nach ihrem Contractionszustande eine verschiedene Breite besitzt und einen mehr oder minder grossen Theil der Randstrahlen abhält, aber der Besitz dieses Apparates giebt, wenn er auch einerseits die Lichtöffnung (die sog. *Pupille*) verkleinert, doch andererseits zugleich die Möglichkeit, die Menge des eintretenden Lichtes je nach den Verhältnissen zu reguliren — ein Vortheil, der natürlich auch den übrigen Thieren mit contractiler Iris zu Gute kommt und um so höher veranschlagt werden muss, jemehr der Beleuchtungsgrad der Gegenstände wechselt, die gesehen werden. Da aber die Lichtstärke der Objecte, wie wir wissen, nicht bloss von der Intensität der Lichtquelle, sondern auch von deren jedesmaliger Entfernung abhängt, so erscheint es begreiflich, weshalb das Spiel der Iris bei den Thieren mit der Fähigkeit einer raschen und ausgiebigen Adaptation (Vögel) am lebhaftesten ist.

In gewissen Fällen besitzen die Dämmerungsthiere hinter der empfindenden Netzhaut auch noch einen besondern reflectorischen Apparat, der die Strahlen auf die einzelnen Empfindungspuncte zurückwirft und diese durch Erneuerung des Reizes noch empfindlicher macht, wie wir das später noch näher zu erörtern haben. Sonst ist der Innenraum des Auges, wie der unserer Camera obscura, ganz allgemein mit einem schwarzen Pigmente bekleidet, welches das Licht verschluckt, nachdem das Retinalbild entworfen ist.

Dass auch das Brechungsvermögen des umgebenden Mediums auf die Bildung der optischen Apparate influirt, ist bei Erwähnung der Wasserthiere oben (S. 153) schon angedeutet. Wir werden bei einer spätern Gelegenheit noch weiter darauf zurückkommen und fügen hier nur die Bemerkung bei, dass das Auge der amphibiotischen Thiere, derjenigen also, die so gut im Wasser, wie in der Luft leben und sehen, den Bau der Wasserthieraugen wiederholt (Plateau). Bei beiden ist es ausschliesslich die Linse, die das Retinalbild erzeugt. Die Cornea, die sonst in der Luft auf den Gang der Lichtstrahlen einen erheblichen Einfluss ausübt, ist durch ihre platte Form aus der Reihe der brechenden Medien ausgeschlossen, sodass die betreffenden Thiere auch ohne besondere Adaptationsleistungen in der Luft so gut, wie im Wasser zu sehen vermögen. Nur insofern besteht einiger Unterschied, als das deutliche Sehen in der Luft — der in beiden Medien verschiedenen Focalweite entsprechend — erst in etwas grösserer Entfernung von dem Auge anhebt.

§ 6. Die Beziehungen, welche zwischen dem Sehvermögen der Thiere und der Bewegung obwalten, finden übrigens nicht bloss in der Bildung der Augen, sondern auch in deren Stellung am Thierkörper ihren Ausdruck. Sie bringen es mit sich, dass die Gesichtsorgane für gewöhnlich in der Bewegungsrichtung stehen, also meist am Kopfe oder doch wenigstens am vorderen Körperende an-

gebracht sind. Und diese Lage wird um so strenger eingehalten, je zwingender jene Beziehungen werden, je leichter und rascher mit anderen Worten die Ortsbewegung vor sich geht. Bei den Wirbelthieren, den Gliederfüsslern und Tintenfischen ist sie fast ohne Ausnahme und auch unter den Würmern die Regel. Freilich finden sich unter den letzteren einzelne Arten, wie Amphicora, welche — im Zusammenhang mit der Fähigkeit, gleich geschickt sich nach vorn und hinten zu bewegen — Augen an beiden Körperenden besitzen, und andere (Polyophthalmus), die solche sogar auf allen Segmenten tragen.

Wo die Ortsbewegung eine geringere Rolle spielt, vielleicht nur sehr beschränkt ist oder gänzlich fehlt, da sind die Gesichtswerkzeuge, wenn überhaupt vorhanden, mit einer gewissen Freiheit hier und da am Körper angebracht, je nach den Verhältnissen. Die Muscheln, die als schwimmende Larven die gewöhnlichen Kopfaugen besitzen, tragen später (z. B. Pecten) ihre Augen am Mantelrande, die den Röhrenwürmern zugehörenden Sabellen (Branchiomma) an den Kiemen, die Seesterne an den Enden der Arme. In ähnlicher Weise stehen die Augen der Medusen am Rande des glockenförmigen Körpers, an Localitäten also, die gleichmässig nach allen Richtungen hinsehen, und dadurch auch am besten den Anforderungen einer allseitigen Ortsbewegung entsprechen.

Nach den voranstehenden Bemerkungen braucht kaum ausdrücklich hervorgehoben zu werden, dass die Zahl der Augen keineswegs immer die Zweizahl ist. Nicht einmal überall da, wo dieselben am Vorderende des Körpers gefunden werden. So haben z. B. die meisten Insecten zwischen den beiden zusammengesetzten Augen noch drei kleinere sog. Nebenaugen, die den Scheitel einnehmen und in einfacher Anzahl auch bei zahlreichen höheren und niederen Krebsen gefunden werden. Bei den echten Spinnen treffen wir gewöhnlich acht Augen, die in verschiedener Anordnung neben und hinter einander stehen, bei den höheren Würmern deren meist vier u. s. w. Am grössesten ist die Menge der Augen bei der Pilgermuschel (Pecten) und den Sabellen, besonders den letzteren, bei welchen nicht selten mehrere Hundert gezählt werden, an den einzelnen Kiemenfäden gelegentlich, in ziemlich regelmässigen Abständen über einander, ein Dutzend und noch mehr.

Die Erwähnung besonderer Haupt- und Nebenaugen bei den Insecten und Krebsen belehrt uns weiter von der merkwürdigen Thatsache, dass es auch Thiere mit zweierlei verschiedenen Gesichtswerkzeugen giebt, nicht bloss verschieden in Bezug auf Grösse und Bau, sondern auch in der Leistungsfähigkeit. So sind die Nebenaugen der genannten Thiere durchschnittlich kurzsichtiger, als die zusammengesetzten sog. Hauptaugen, und in vielen Fällen zu einer nur sehr unvollkommenen Wahrnehmung geeignet. Haupt- und Nebenaugen der Insecten verhalten sich hiernach ähnlich wie Fühler und Taster, die als Organe eines feineren Gefühls ja gleichfalls beide unter sich übereinstimmen, aber in verschiedene Ferne reichen und auch sonst noch mehrfach von einander abweichen.

§ 7. Zu besonderen Bewegungen sind die Augen nur bei den Wirbelthieren und Tintenfischen, in sehr beschränkter Weise auch bei einigen Schnecken befähigt. Die übrigen Thiere besitzen Gesichtsorgane, die fest in die Körpermasse eingelagert sind. Mit der Beweglichkeit ist dann gewöhnlich auch die

umhüllende Wand (*Sklera*) verloren gegangen, welche die optischen Apparate zu einem Augapfel (*Bulbus*) vereinigt und den vordern Ansatzpunct der Augenmuskeln abgiebt.

Der Mangel einer selbstständigen Bewegung schliesst natürlich nicht aus, dass die Augen in Körpertheile und Anhänge eingelagert sind, die ihrerseits eine mehr oder minder freie Beweglichkeit besitzen. So ist es namentlich bei den höheren Krebsen, deren Seitenaugen auf besondern fühlerartigen Stielen stehen, so auch bei den augentragenden Sabellen, deren Kiemenfäden bald sich flächenhaft ausbreiten, bald auch zusammenlegen.

Wenn wir von diesen wenigen Fällen absehen, dann behalten die Gesichtsfelder der festsitzenden Augen natürlich jederzeit dieselben relativen Lagenverhältnisse. Sie sind, da die Augenachsen gewöhnlich um so stärker divergiren, je weitsichtiger die Thiere werden, nach verschiedenen Richtungen gekehrt und der Art begrenzt, dass sie sich nicht decken, sondern ergänzen. Mit der Zahl der Augen wächst also der Horizont, den die Thiere mit ihren Gesichtsorganen beherrschen, so dass die Vermehrung derselben in gewisser Hinsicht den Mangel einer selbstständigen Beweglichkeit ersetzt, insofern die letztere es erlaubt, auch ohne Verrückung des Kopfes und Körpers die Stellung der Augen zu den äusseren Gegenständen zu verändern und damit den Umfang des Gesichtskreises zu vergrössern.

Aber auch die beweglichen Augen sind gewöhnlich mit stark divergirenden Achsen versehen und seitlich am Kopfe gelegen, so dass ihre Gesichtsfelder gleichfalls den Seiten zugekehrt und zum grössten Theil für beide Augen gesondert sind. Freilich ist diese Sonderung nur in den wenigsten Fällen eine ganz vollständige. Als Regel gilt vielmehr, dass die Gesichtsfelder nach vorn (oder auch, wie namentlich bei gewissen Fischen, nach oben, ja selbst gleichzeitig nach beiden Richtungen) nicht bloss aneinander stossen, sondern auch mehr oder minder über einander hingreifen, je nach der Stellung, welche die Augenachsen einnehmen. Bis zu welchem Grade solches möglich ist, zeigt der Mensch und der Affe, deren Augenachsen die sonst gewöhnliche Divergenz mit einer parallelen oder selbst convergirenden Stellung vertauscht haben und Gesichtsfelder bieten, die, unter gleichzeitiger Beschränkung des Gesammthorizontes, bis auf ein relativ unbedeutendes Segment zusammenfallen.

Die einzelnen Objecte des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes entwerfen natürlich in jedem Auge ein besonderes Bild. Wo die Augenachsen divergiren (Fig. 4 *A*, *A'*), da fallen diese Bilder auf die äussere oder temporale Hälfte der Sehhaut, und um so weiter nach aussen, je grösser die Divergenz ist. Umgekehrt rücken dieselben in den Augen mit convergirenden Achsen (Fig. 5) immer weiter in den Augengrund hinein, bis das isolirte Gesichtsfeld schliesslich nur auf einen kleinen Theil des Innenrandes beschränkt ist. Trotz der Duplicität werden diese Bilder des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes jedoch nicht doppelt gesehen, sondern zu einem einfachen Eindrucke verschmolzen, der sich nur durch eine grössere Intensität von den Perceptionen der Specialgesichtsfelder unterscheidet.

Diese merkwürdige Erscheinung des Einfachsehens doppelter Bilder hat zu der Annahme geführt, dass die Netzhäute, soweit sie sich bei dem binoculären Sehen betheiligen, aus sog. identischen Stellen beständen. Natürlich, dass diese Stellen, wie Fig. 4 und 5 für *a*, *b* und *c* zeigen, in den Augen sowohl mit diver-

girenden wie convergirenden Achsen rechts und links die gleiche Lage haben, sich mit anderen Worten decken, wenn man die Netzhäute, soweit sie das binoculäre Sehen vermitteln, auf einander gelegt denkt. Fällt nun das Bild eines Objectes

Fig. 4.

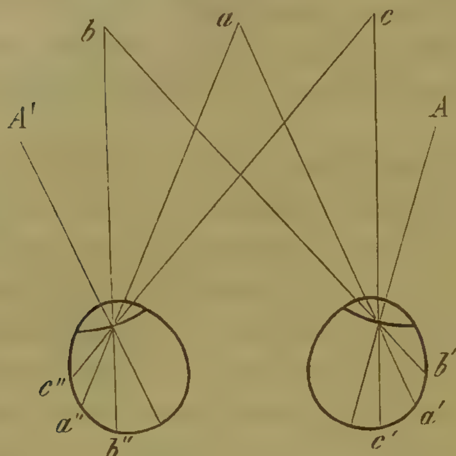
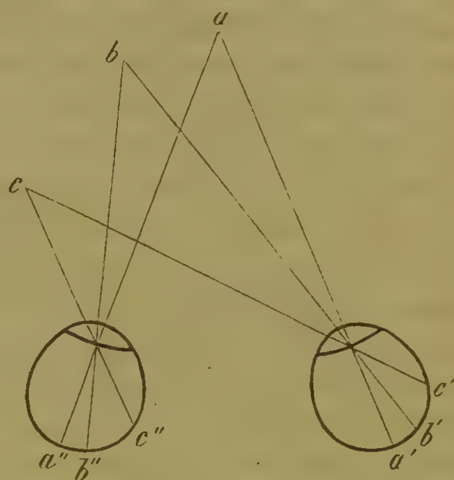


Fig. 5.



auf solche congruente Puncte, dann werden die beiden Empfindungen zu einem gemeinschaftlichen Eindrucke verschmolzen. Doch das ist immer nur dann der Fall, wenn beide Augen, resp. deren Achsen, eine solche Stellung haben, dass die gerade Verbindungslinie zwischen den identischen Puncten und dem Mittelpuncte der Linse, nach Aussen verlängert, in den betreffenden Objecten sich schneiden, oder wenn, mit anderen Worten, die Achsenstrahlen desselben Gegenstandes in beiden Augen auf identische Puncte fallen. Da diese Stellung nun aber je nach der mehr oder minder grossen Entfernung des Objectes sich ändert, so erscheint es nothwendig, dass Augen mit gemeinschaftlichem Gesichtsfelde beweglich sind, wenn sie die Gegenstände dieses Gesichtsfeldes, nahe so gut wie ferne, einfach sehen sollen. Für starre Augen würde bei Gemeinschaft des Gesichtsfeldes ein einfaches Sehen nur in einer bestimmten, je nach der Stellung der Augenachse variirenden Entfernung möglich sein. Alle Gegenstände, die weiter nach vorn oder hinten liegen, werden doppelt (resp. mehrfach) gesehen werden müssen, wie das ja auch bei den für eine gewisse Entfernung einmal eingestellten beweglichen Augen der Fall ist.

Auf dem Umstande nun, dass die Thiere mit identischen Sehhautstellen ihre Augen stets in eine bestimmte Richtung bringen müssen, um die Gegenstände verschiedener Entfernung einfach zu sehen, beruht zum grossen Theile auch wohl die Möglichkeit, diese Entfernungen selbst zu beurtheilen, und somit durch Erkennung der dritten Dimension die Deutung der gesehenen Bilder den räumlichen Verhältnissen in möglichst vollkommener Weise anzupassen.

Die Beweglichkeit der Augen bietet also nicht bloss die Mittel zur Vergrösserung des Gesichtskreises, sondern auch zu einer vollständigeren Analyse derselben. Die letztere macht freilich noch ihre besonderen Voraussetzungen: sie verlangt nicht bloss Augen, die beweglich sind, sondern auch solche, deren Bewegungen in bestimmter Weise zusammenwirken. Und derartige Augen kennen wir bis jetzt nur bei den Wirbelthieren, deren Augen sich bekanntlich nicht einzeln bewegen, sondern jedes Mal in correspondirender Weise gleichzeitig sich

richten. Da Mensch und Affe diesen Bewegungsmechanismus in besonders ausgezeichneter Weise üben, so dürfen wir unter gleichzeitiger Berücksichtigung der übrigen Verhältnisse wohl behaupten, dass die Fähigkeit des räumlichen Sehens bei ihnen weit mehr, als bei den übrigen Thieren entwickelt sei.

II. Bau der Gesichtsorgane in den einzelnen Thiergruppen.

A. Wirbelthiere.

Cuvier, Leçons d'anatomie comparée. Paris 2. Ed. 1845. XII. Leç.
Stannius, Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbelthiere. Berlin 1846. 2. Aufl. (erste und zweite Lieferung) 1854.
Leydig, Lehrbuch der Histologie des Menschen und der Thiere. Frankfurt a. M. 1857.
H. Müller's gesammelte und hinterlassene Schriften zur Anatomie und Physiologie des Auges. I. Band. Leipzig 1872.
Haller, De oculis quadrupedum et avium. Opera minora T. III. 1768. p. 218; piscium oculi. Ibid. p. 250.
D. W. Sömmering, De oculorum hominis animaliumque sectione horizontali commentatio. Gottingae 1818.
Treviranus, Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge. I. Bremen 1828.
Hannover, Das Auge. Beiträge zur Anatomie, Physiologie und Pathologie dieses Organes. Leipzig 1852.
Brücke, Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels. Berlin 1847.
Eschricht, Beobachtungen an den Seehundsaugen. Müller's Arch. 1838. S. 575—599.
Rosenthal, Zergliederung des Fischauges. Reil's Archiv. Bd. X. S. 393—414.

§ 8. Mit Ausnahme des Amphioxus, ihres einfachsten und niedrigsten Repräsentanten, besitzen die Wirbelthiere sämmtlich zwei kuglige Augen, die in einiger Entfernung von dem vordern Körperende, hinter den Riechorganen, rechts und links am Kopfe gelegen sind und dem zweiten Hirnnerven, dem *N. opticus*, anhängen. Zur Aufnahme derselben ist die Schädelkapsel jederseits auf der Höhe der Keilbeinflügel und des Stirnbeines mit einem grubenförmigen Eindrucke versehen, der durch die benachbarten Gesichtsknochen und Weichtheile (Muskeln) zu einer mehr oder minder tiefen und trichterförmigen Höhle (*Orbita*) vervollständigt wird, aus welcher dann das durchsichtige vordere Augensegment nach Aussen hervorragt. Die Haut, die dieses Segment überzieht, ist gewöhnlich stark verdünnt und gleichfalls durchsichtig, so dass den einfallenden Lichtstrahlen kein Hinderniss im Wege steht. Die Tiefe der Augenhöhlen enthält die Eintrittsstellen des Sehnerven (*Foramen opticum*) und dahinter die der Augenmuskelnerven.

Sonst streng symmetrisch, macht die Anordnung der Augen nur bei den Schollen eine Ausnahme, indem hier der eine, bald rechte, bald auch linke Bulbus aus der ursprünglichen Lage allmählich auf die gegenüberliegende Körper-

fläche hinübergedrängt wird, so dass beim erwachsenen Thiere beide Augen auf derselben Seite neben einander stehen. Die Umlagerung beginnt bei den einzelnen Arten zu verschiedener Zeit, aber immer, soviel wir wissen, nach der Geburt, so dass die Schollen in der ersten Jugend ganz die gewöhnliche symmetrische Bildung der übrigen Wirbelthiere besitzen.

Ob der oben erwähnte Amphioxus trotz der Abwesenheit der gewöhnlichen Gesichtsorgane völlig blind ist, dürfte zweifelhaft sein. Jedenfalls trägt derselbe am abgestumpften Vorderende seines (bekanntlich hirnlosen) Medullarrohres zwischen den Ursprungsstellen des ersten Nervenpaares einen ziemlich grossen dunklen Pigmentfleck, der durch seine Verbindung mit den Centraltheilen die Vermuthung erweckt, dass er zur Perception der Lichtstrahlen diene, und von den meisten Beobachtern auch geradezu als Augenfleck bezeichnet wird. Man hat neuerdings freilich (Stieda) gegen diese Deutung geltend zu machen versucht, dass ähnliche Pigmentflecke durch die ganze Länge des Rückenmarkes hindurch vorkämen, allein diese letzteren sind in die Tiefe der Marksubstanz eingelagert und somit dem Nervensystem ganz anders verbunden, als jener Augenfleck. Dazu kommt, dass auch das Auge der jungen Petromyzonten in den ersten Wochen ihres Lebens (nach M. Schultze) aus Nichts, als einem schwarzen Pigmentflecke besteht, der auf der Oberfläche eines halbkugligen Körpers aufliegt, also eine Bildung hat, die sich nur wenig von dem Augenflecke des Amphioxus unterscheidet. Die unpaarige Beschaffenheit des letztern kann um so weniger gegen eine Zusammenstellung mit diesen Gebilden geltend gemacht werden, als ja bekanntlich auch das Geruchsorgan des Amphioxus (selbst das der Neunaugen und Cyclostomen überhaupt) statt der sonst gewöhnlichen Duplicität eine einfache Anordnung darbietet.

Die Augen von Myxine scheinen nach den bis jetzt darüber vorliegenden Untersuchungen (von J. Müller) auch im ausgebildeten Zustande nur wenig über die Bildungsstufe der jungen Neunaugen hinauszugehen; sie werden als kleine unter Haut und Muskeln versteckte Körperchen beschrieben, an die der Sehnerv hinantritt.

Um übrigens den Werth dieser Bildungen richtig zu beurtheilen, müssen wir uns daran erinnern, dass die Myxinoiden in der Leibeshöhle anderer Fische schmarotzen, die jungen Neunaugen aber und die Amphioxen Schlammbewohner sind.

Die übrigen Wirbelthiere haben Gesichtswerkzeuge von durchweg höherer Entwicklung. Ihr Bulbus ist mit eigenen Muskeln versehen, die aus der Tiefe der Orbita hervorkommen, und umschliesst eine Linse, die in einiger Entfernung hinter der Cornea befestigt ist. Der Augengrund trägt eine becherförmige Retina, welcher nach Aussen eine gefässreiche Pigmenthaut (*Chorioidea*) aufliegt. Die letztere reicht bis zum Linsenrande, in dessen Umfang sie fest mit der Augenwand in Verbindung tritt, um dann in eine frei vor der Vorderfläche der Linse herabhängende ringförmige Blendung, die sog. Iris, auszulaufen. Was sonst im Innern des Auges an Raum noch übrig bleibt, ist mit einer durchsichtigen Flüssigkeit gefüllt, die hinter der Linse eine gallertartige Beschaffenheit besitzt.

Den hier geschilderten Bau finden wir nicht bloss bei den Arten mit wohl entwickelten Gesichtswerkzeugen, sondern mit einigen Modificationen auch bei den sog. blinden Wirbelthieren, zu denen sämmtliche Klassen, mit Ausnahme

der Vögel, ihr Contingent stellen. Von bekannteren Arten gehören dahin namentlich der Maulwurf (Talpa) und die Blindmaus (Spalax), die unter der Erde leben, sowie der Höhlensalamander der Adelsberger Grotte (Proteus anguinus) und die blinden Fische der Nordamerikanischen Tropfsteinhöhlen (Amblyopsis). Bei allen diesen Thieren sind die Augen klein, dem Lichte wenig zugänglich, mit schwachen Muskeln versehen und auch im Innern mehrfach abweichend. Am meisten gilt das vielleicht von den Augen des Proteus, in denen LEYDIG — im Gegensatze zu den Angaben WAGNER's — nicht einmal eine deutliche Linse auffinden konnte, obwohl diese doch sonst bei den blinden Wirbelthieren vorhanden ist. [1]) Die Häute des Auges sind bei Proteus gleichfalls nur wenig entwickelt, indem die Choroidea auf eine Zellenlage mit geringem Pigmentgehalt reducirt ist, von einer Iris Nichts existirt und die Retina aus einer kernhaltigen Molecularmasse besteht, in der weder Nervenfibrillen noch Stäbchen nachweisbar sind. Auch beim Maulwurf konnte LEYDIG in der frischen Retina keine Stäbchen auffinden, obwohl er sich später, bei Untersuchung von Chromsäurepräparaten, von deren Anwesenheit überzeugte.

Die Anhänger Darwin's sind bekanntlich der Ansicht, dass diese blöden Augen durch Anpassung an die Verhältnisse einer subterranen Lebensweise erst nachträglich ihre jetzige Beschaffenheit angenommen haben, dass sie mit andern Worten in Folge des Nichtgebrauches verkümmert sind. Ebenso sehen dieselben in der hohen Entwicklung der Gesichtswerkzeuge bei den Vögeln und andern scharfsichtigen Thieren den Ausdruck einer den jedesmaligen Bedürfnissen entsprechenden Weiterbildung.

Ob eine solche Auffassung richtig und nothwendig ist, soll hier nicht untersucht werden. Für unsere gegenwärtigen Zwecke genügt die unleugbare Thatsache, dass die Augen der Wirbelthiere, von den einfachsten Formen abgesehen, in den Grundzügen ihres Baues unter sich übereinstimmen. Wie mannichfaltig diese Züge nun aber in den einzelnen Fällen verändert und den verschiedenen äussern und innern Verhältnissen angepasst sind, darüber sollen die nachfolgenden Capitel uns Aufklärung geben.

Orbita.

Petit's anatomische Beschreibung des Auges des Truthahns, sowie des Kopfes und Auges einiger Vögel und Amphibien. Mém. Acad. des sciences 1735—37, übersetzt in Froriep's Bibliothek f. vergl. Anat. Bd. I. S. 244—313.

J. Müller, Zur vergl. Physiolog. des Gesichtssinnes. S. 142.

Bendz, Ueber die Orbitalhaut bei den Haussäugethieren. Archiv für Anat. und Physiol. 1841. S. 196.

§ 9. Die Verschiedenheiten, welche uns in der Bildung der Augenhöhlen bei den Wirbelthieren entgegentreten, beziehen sich vornehmlich auf zwei Momente, auf die Form- und Lagenverhältnisse, die sie darbieten, und auf ihr Ver-

---

1) Vgl. über das Auge von Proteus LEYDIG, Anat. histol. Untersuchungen über Fische und Reptilien. Berlin 1853. S. 98. Das Maulwurfsauge ist besonders von TREVIRANUS (Vierteljahrschr. für Physiologie Bd. II. S. 176) und LEYDIG (Arch. für Anat. 1854. S. 326), das von Spalax von OLIVIER (Bullet. soc. philomath. T. II. p. 105) untersucht worden. Ueber die Augen von Amblyopsis liegen nur sehr ungenügende Angaben vor. Vgl. TELLKAMPF, Arch. für Anat. 1844. S. 387.

halten zu den benachbarten Organen, oder, was so ziemlich dasselbe ist, die Beschaffenheit der umgebenden Wände.

§ 10. Wie bei dem Menschen, so bildet auch bei den übrigen hier in Betracht kommenden Thieren die Orbita einen kegelförmigen oder pyramidalen Hohlraum, dessen Spitze durch das *Foramen opticum* bezeichnet ist, während seine Basis der obern Gesichtsfläche angehört. Da ersteres bei allen Wirbelthieren den kleinen Keilbeinflügel oder — im Falle mangelnder Verknöcherung — das demselben äquivalente Knorpelstück durchbohrt, also unweit der Mittellinie an der Gaumen-Fläche des Schädels angebracht ist, so zeigt die Achse der Augenhöhle, d. h. die gerade Linie, welche das *Foramen opticum* mit der Mitte der Augenhöhlenbasis verbindet, eine Richtung nach Aussen, Vorn und Oben, bald gleichmässig allen drei Seiten, bald mehr der einen oder andern zugekehrt. Nur in den seltensten Fällen ist übrigens diese Achse, wie bei dem Menschen — ausserdem vielleicht nur noch bei den Eulen —, nahezu senkrecht auf die Ebene des Augenhöhlenrandes gerichtet, die wir oben als die Basis des Orbitalraumes bezeichnet haben. In der Regel schneiden sich beide in schräger Richtung und zwar der Art, dass der dabei gebildete Winkel nach Oben und besonders Hinten kleiner ist, als nach Vorn und Unten. Die Grundflächen der Augenhöhlen sind mit andern Worten gewöhnlich nach Oben und mehr noch nach Hinten geneigt und letzteres bisweilen in einem solchen Grade, dass sie trotz der Divergenz der Augenhöhlenachsen (besonders bei Fischen) eine nahezu parallele Lage oder, was dasselbe besagt, eine vollständige Seitenstellung einnehmen. Das Gegenstück dieser Bildung finden wir bei den Orangs, bei denen die Ebenen der Orbitalränder fast genau nach Vorn sehen, obwohl die Achsen der Augenhöhlen immer noch eine merkliche Divergenz zeigen, die Winkel also, welche durch Achse und Ebene gebildet werden, nach Innen kleiner sind, als nach Aussen.

Die Grössenverhältnisse der Orbita richten sich natürlich in erster Instanz nach der Grösse des Augapfels. Die Vögel haben (bei gleicher Körpermasse) durchschnittlich geräumigere Augenhöhlen als die Säugethiere, und diese wieder grössere als die Amphibien. Freilich ist es zunächst nur die Weite der Augenhöhlen, die durch das hervorgehobene Moment bestimmt wird, während die Tiefe zum grossen Theile von der Bildung und besonders der Länge der Augenmuskeln abhängt. Auf diese Weise erklärt es sich auch, warum die Säugethiere mit ihren langen und kräftigen Augenmuskeln eine ungewöhnlich tiefe Orbita besitzen.

Dass der Augapfel mit seinem durchsichtigen Segmente aus der basalen Oeffnung der Orbita mehr oder minder weit hervorragt, ist für das Thier insofern von Bedeutung, als es dadurch einen Gesichtskreis von grösserem Umfange gewinnt. Andererseits folgt aber aus diesem Umstande, dass der Mittelpunct der Cornea bei ruhendem Auge nahezu auch den Mittelpunct der Orbitalöffnung abgiebt und die Linie, die von da (durch das Centrum der Linse hindurch) nach dem Augengrunde gezogen wird, die sog. Augenachse, zu der Ebene dieser Oeffnung senkrecht steht.

Die Augenachse fällt somit nur in den seltensten Fällen, namentlich bei dem Menschen, annäherungsweise mit der Orbitalachse zusammen, während sie sonst

damit, je nach der Stellung, welche die Ebene des Orbitalrandes einhält, einen mehr oder minder spitzen Winkel bildet. Bei denjenigen Thieren, bei denen die Ebenen der Augenhöhlenränder nach Hinten geneigt sind, wird die Divergenz der Augen durch diesen Winkel vergrössert, während bei den Affen dadurch das Gegentheil bewirkt wird, indem die Augenachsen hier trotz der noch immer deutlichen Divergenz der Orbitalhöhlen eine parallele Stellung einnehmen, die bei geeigneter Muskelwirkung leicht (wie bei dem Menschen) in eine Convergenz sich verwandelt.

Da nun aber, wie wir früher (§ 7) gesehen, die Stellung der beiderseitigen Augenachsen für die Construction des optischen Gesammthorizontes von grössester Bedeutung ist, so gewinnen die Unterschiede, die wir in Bezug auf die Lage der Orbitalebene soeben kennen gelernt haben, ein noch grösseres Interesse. Wir brauchen nur die Winkel zu bestimmen, in denen die beiderseitigen Ebenen nach Vorn und Oben (oder wie es in einigen seltenen Fällen, bei gewissen Schildkröten, vorkommt, nach Unten) sich schneiden, um alsbald ein vollständiges und richtiges Bild von der gegenseitigen Stellung der Augenachsen und damit zugleich auch von den Beziehungen der beiderseitigen Gesichtsfelder zu gewinnen. Je kleiner die betreffenden Winkel ausfallen, desto grösser ist die Divergenz der Augenachsen und umgekehrt. Bei den Fischen und Walfischen, deren Orbitalebenen vorn einen Winkel von durchschnittlich 20—30° bilden, ist die Divergenz der Augenachsen so bedeutend, dass der gemeinschaftliche Theil der beiden Gesichtsfelder ausserordentlich klein wird, während umgekehrt bei dem Orang, bei dem ich (an einem ausgewachsenen männlichen Exemplare) den vorderen Winkel zu 168° mass, die Gesichtsfelder beider Augen sich fast vollständig decken. Bei den Nagern beträgt dieser vordere Winkel durchschnittlich etwa 40—50°, bei den Wiederkäuern 50—60°, bei den Raubthieren 80—100°, während die Vögel (mit Ausschluss der Raubvögel, unter denen dieser Winkel bei den Eulen auf einige 70° steigt) durchschnittlich kaum 30° haben — Grössenverhältnisse, die im Einzelnen allerdings (und oftmals bei ganz nahe verwandten Thieren) mancherlei höchst auffallende Schwankungen darbieten.[1]

Nach Oben schneiden sich die Orbitalebenen vornehmlich bei den kleineren und kurzbeinigen Wirbelthieren, besonders den Nagern, Amphibien und Fischen, und zwar gleichfalls nicht selten in einem Winkel, der 100° und darüber beträgt, unter Verhältnissen also, die auch nach oben ein für beide Augen gemeinschaftliches Gesichtsfeld von ansehnlicher Grösse bedingen. Bei Uranoscopus scaber fallen die beiden Orbitalebenen nach oben fast zusammen, so dass wir darin ein Gegenstück zu dem Verhalten der Affen haben.

---

1) Ueber die Winkelstellung der Orbitalebenen vergleiche besonders die zahlreichen und genauen Messungen von J. Müller, Zur vergl. Physiologie des Gesichtssinnes S. 143 bis 152. Sie sind sämmtlich an erwachsenen Thieren angestellt, was wir vornehmlich deshalb bemerken, weil die Untersuchung jugendlicher Exemplare, deren knöchernes Gesicht erst unvollständig entwickelt ist, mehrfach abweichende Resultate giebt. So ist namentlich der vordere Winkel in der Jugend, besonders bei Thieren mit starker Prognathie, grösser, als später, so dass — vermuthlich überall, wenn auch nicht überall gleichmässig — die Divergenz der Augen mit dem Alter zunimmt. Mit diesen Veränderungen ist natürlich auch die Möglichkeit zahlreicher individueller Abweichungen gegeben.

§ 11. Bei dem Menschen sind die Augenhöhlen bekanntlich überall von knöchernen Seitenwänden umkapselt. Das obere Dach wird von dem Stirnbein, der Boden von dem Oberkiefer, die Aussenwand vornehmlich von der *Lamina orbitalis ossis zygomatici*, die Innenwand dagegen von dem Thränenbein und der *Lamina orbitalis ossis ethmoidei* gebildet. Dazu kommt dann noch der Antheil, den in der Tiefe die beiden Keilbeinflügel, besonders der zweite sog. grosse durch seine Verbindung mit dem Wangenbein *(Ala orbitalis)*, an der Herstellung der Knochenwände nehmen. (Vgl. Cap. I. § 1—10.) Der Abschluss, der auf diese Weise erzielt wird, ist so vollständig, dass — von den in die Schädelhöhle führenden Nervenöffnungen abgesehen — nur eine einzige schmale Spalte bleibt, die *Fissura infraorbitalis*, welche in der Richtung nach Unten und Aussen die Wand durchbricht und den tiefern Theil der Orbita, zwischen *Ala orbitalis* und Gaumenwand des Oberkiefers hindurch, in die *Fossa pterygopalatina* d. h. den vorderen und unteren Theil der Schläfengrube öffnet.

Wie bei dem Menschen, so ist es nur noch bei den Affen (mit Ausschluss der Halbaffen), ja es ist sogar bei diesen, besonders bei den Orangs, der Verschluss noch vollständiger, da die *Fissura infraorbitalis* an Breite und Länge hinter der entsprechenden Bildung des Menschen zurückbleibt.

Im Gegensatze zu diesen Geschöpfen sind nun aber die übrigen Wirbelthiere sammt und sonders mit Augenhöhlen versehen, die hinten und unten weit weniger vollständig umkapselt sind und in der Regel sogar, besonders nach Hinten zu, eines festen Abschlusses gänzlich entbehren. Die *Fissura infraorbitalis*, so kann man sich denken, ist bei diesen Thieren auf Kosten der begrenzenden Skeletstücke so beträchtlich erweitert, dass die Orbita nicht bloss, und gewöhnlich in ganzer Höhe, mit der Schläfengrube zusammenfliesst, gewissermaassen nur einen vordern vertieften Abschnitt derselben darstellt, sondern auch in der Richtung nach Unten nur durch Weichtheile (besonders die *Musculi pterygoidei*) gegen die Rachenhöhle sich absetzt.

Gleichzeitig tritt auch in den Beziehungen zu den umgebenden Skeletstücken ein mehr oder minder auffallender Wechsel ein. Einzelne Knochenstücke treten aus der Augenhöhle zurück (wie z. B. das *Os lacrimale*) oder schwinden selbst vollständig *(Lamina orbitalis ossis ethmoidei)*, während andere dafür je nach Umständen in dieser oder jener Weise zur Begrenzung herbeigezogen werden (wie z. B. das Gaumenbein). Das einzige Skeletstück, das ausser den Keilbeinflügeln überall bei der Bildung der Orbita Verwendung findet, dürfte das *Os frontis* (oder dessen knorplicher Vertreter) sein, das nach Oben zu zwischen die Orbitae sich einschiebt und dieselben gewöhnlich auch in Form eines mehr oder minder breiten Daches überragt.

Nach Oben und Innen ist die Orbita unter solchen Umständen ganz constant von Skeletstücken umgeben, während unten und hinten, nach der Schläfengrube zu, gewöhnlich auch die benachbarten Weichtheile zur Begrenzung verwendet sind. Für die niederen Wirbelthiere gilt das noch in einem höhern Grade, als für die Säugethiere, obwohl gelegentlich auch bei diesen schon, wie wir wissen, die Knochenwand der Augenhöhle sehr lückenhaft wird. Selbst gegen die Rachenhöhle ist die Orbita nicht selten, z. B. beim Frosch, Hecht und zahlreichen andern Fischen, ausschliesslich durch Weichtheile abgesetzt. Es sind

namentlich die Beiss- und Gaumenmuskeln, die in mehr oder minder grosser Ausdehnung zur Herstellung der Augenhöhle beitragen.

Die Knochen, welche in die Bildung der Orbitalwand eingehen, tragen auf ihrer freien Fläche eine derbe Beinhaut, die sich in das *Foramen opticum* hinein verfolgen lässt und hier mit der äusseren Scheide des Sehnerven in Verbindung tritt. Aber diese Haut ist nicht auf die Knochenwände der Orbita beschränkt, sondern setzt sich in Form eines mehr oder minder selbstständigen Ueberzuges auch auf die anliegenden Weichtheile fort, die ganze Innenfläche der Orbita bekleidend. Am stärksten ist die Entwicklung derselben bei den grösseren Säugethieren, namentlich denen mit unvollständiger Knochenwand, wie den Wiederkäuern und Pferden, und das besonders da, wo sie den Weichtheilen aufliegt, die in Form eines Wulstes nach Innen in die Orbita vorspringen. Schon die älteren Anatomen haben auf das eigenthümliche Aussehen dieser Orbitalhaut aufmerksam gemacht und vermuthet, dass dasselbe von Muskelfasern herrühre, die in die sonst fibröse Masse eingelagert seien. Durch die Untersuchungen H. Müller's hat diese Annahme ihre Bestätigung gefunden. Freilich sind es keine quergestreiften, sondern glatte Fasern, die diesen *Musculus orbitalis* bilden, aber trotzdem Fasern von evident muskulöser Natur, die man durch Reizung der eintretenden Nerven (aus dem *Ganglion sphenopalatinum*) zu einer Contraction bringt, in Folge deren der Bulbus nach Aussen hervortritt. Auch der Mensch besitzt (nach Müller) ein Analogon dieses Muskels und zwar in Form einer grauröthlichen Masse, welche die Augenhöhle in der Gegend der *Fissura orbitalis inferior* bekleidet und die letztere ausfüllt.

Allem Anschein nach ist übrigens dieser Orbitalmuskel auf die Gruppe der Säugethiere beschränkt, wie schon der Umstand vermuthen lässt, dass die Auskleidung der Augenhöhle bei den niederen Wirbelthieren vielfach die selbstständige Beschaffenheit verliert, die sie bei den ersteren auszeichnet, und immer mehr den Charakter des gewöhnlichen Bindegewebes annimmt.

Der Innenraum der Orbita ist, soweit ihn das Auge mit seinen Nebenapparaten frei lässt, von einer lockeren Bindesubstanz erfüllt, die zunächst mit der orbitalen Bekleidung zusammenhängt und in der Tiefe gewöhnlich mit Fett oder (bei gewissen Fischen) sulziger Gallertmasse durchwirkt ist. Die Verbindung mit dem Bulbus geschieht vornehmlich im Umkreis des vordern Augensegmentes unterhalb der bei den niedern Wirbelthieren nicht selten stark verdickten Conjunctiva. Von dem Augengrunde ist dieselbe durch einen mehr oder minder vollständigen Spaltraum getrennt, der von den Augenmuskeln durchsetzt wird und eine Art Pfanne bildet, in der das Auge sich bewegt, auch gelegentlich sich, besonders bei den Fischen, an der Ventralseite (oder, wie beim Aal, in ganzem Umfang) zu einem mit coagulirender Lymphe erfüllten ansehnlichen Sacke ausweitet.

§ 12. Obwohl es die erste und wesentlichste Aufgabe der Orbita ist, das Auge mit seinen Nebenapparaten in sich aufzunehmen und zu schützen, so lassen sich doch die Eigenthümlichkeiten derselben nur unvollständig verstehen, wenn man sie ausschliesslich von diesem einen Gesichtspuncte aus auffasst. Die Knochen, welche die Orbita umgeben, sind nicht bloss schützende, sondern auch stützende Skeletstücke. Sie verbinden das Oberkiefergerüste mit dem Schädel

und zwar der Art, dass beide entweder fest (bei den Thieren mit grosser Beisskraft, den Säugethieren, Krokodilen und Schildkröten, sowie den dazu den Uebergang bildenden Eidechsen) unter sich zusammenhängen, oder (bei den übrigen Wirbelthieren) in mehr oder minder freier Bewegung an einander hingleiten. Natürlich, dass in dem ersteren Falle die Verbindungen auch vollständiger sind, als in dem anderen. Nur bei den Thieren der ersteren Gruppe finden wir einen *Processus frontalis ossis zygomatici*, jene Stütze also, die an der hinteren Begrenzung der Augenhöhle senkrecht emporsteigt und den Rand derselben ringförmig gestaltet.

In den einzelnen Fällen zeigt die Entwicklung dieser Stütze freilich selbst wieder manche Verschiedenheiten. Gewöhnlich auf die Aussenwand der Orbita beschränkt, greift sie bei Mensch und Affe durch die Entwicklung einer *Ala orbitalis* in die Tiefe, bis sie mit einer leistenförmigen Erhebung des gegenüberliegenden hinteren Keilbeinflügels zusammenstösst und im Verein mit dieser dann, wie oben beschrieben, die Augenhöhle bis auf die *Fissura infraorbitalis* nach Hinten oder Aussen abkapselt.

Aber diese Bildung wird uns, so eigenthümlich sie ist, doch alsbald verständlich, sobald wir die Beschaffenheit der zweiten, zwischen den Augen emporsteigenden senkrechten Kieferstütze betrachten und dabei die Ueberzeugung gewinnen, dass diese im Gegensatze zu dem Verhalten derselben Stütze bei den verwandten Thieren eine ungewöhnliche Schwachheit besitzt. Statt der sonst an Breite der Stirn nur wenig nachgebenden Nasenwurzel sehen wir bei den betreffenden Geschöpfen, besonders den Affen, eine sehr schmale Knochenverbindung, die es allerdings erlaubt, die Augen einander bis auf einen unbedeutenden Abstand zu nähern und dadurch das für sie beide gemeinschaftliche Gesichtsfeld noch mehr zu vergrössern, aber andererseits auch eine nur wenig feste Stütze für den Kieferapparat abgiebt. Was dem letzteren auf diese Weise verloren geht, das muss durch eine stärkere Entwicklung der in gleicher Richtung stehenden seitlichen Knochenverbindungen wieder gewonnen werden; die Vollständigkeit der äusseren Augenhöhlenwand und die Schwäche des Nasenrückens ergeben sich hiernach als Eigenschaften, die sich gegenseitig bis zu einem gewissen Grade bedingen.

Wir brauchen dem eben ausgesprochenen Satze nur eine allgemeinere Fassung zu geben, um es begreiflich zu finden, dass die äusseren Augenhöhlenstützen gelegentlich schon bei den Säugethieren vermisst werden. Es sind vorzugsweise kleinere Säugethiere, bei denen wir solches beobachten, namentlich die Nager und Insektenfresser, mit wenigen Ausnahmen sämmtlich Formen, die durch eine besondere Breite und Solidität ihrer interorbitalen Kieferstütze sich auszeichnen. Bei den Raubthieren ist allerdings noch ein *Processus frontalis* am Wangenbein vorhanden, dem gegenüber auch vom Stirnbein ein *Pr. zygomaticus* abgeht, aber beide sind nur durch ein dazwischen ausgespanntes straffes Ligament in Verbindung, so dass die sonst stützende und gleichzeitig schützende Einrichtung hier nur noch in letzterer Hinsicht von Bedeutung ist.

Auch bei den Wirbelthieren mit beweglichem Kiefergerüste vervollständigt sich der obere Augenhöhlenrand nicht selten durch die Entwicklung eines bald einfachen, bald auch aus mehreren accessorischen Knochen zusammengesetzten (infraorbitalen) Skeletbogens zu einem Ringe, der das Auge umgiebt und gegen äussere Eingriffe schützt, vielleicht auch noch in anderer Weise (durch Gegen-

druck) demselben zu Gute kommt. So sehen wir es unter den Vögeln z. B. bei den Papageien und Schnepfen, besonders aber bei den Knochenfischen, bei denen dieser Apparat in einzelnen Fällen sogar eine sehr ansehnliche Grösse erreicht, so dass er einen förmlichen Gesichtspanzer darstellt. [1])

§ 13. Was wir in dem voranstehenden Paragraphen erörtert haben, erschöpft übrigens noch nicht den ganzen Einfluss, den die Construction des Oberkiefergerüstes auf die Bildung der Orbita ausübt. Auch das Verhalten zur Nasen- und Schädelhöhle wird dadurch in hohem Grade beeinflusst.

Die orthognathe Bildung des menschlichen Kopfes — orthognath natürlich im Sinne des Zootomen, nicht des Anthropologen — und die Geräumigkeit der Nasenhöhle bringt es mit sich, dass diese sich mit ihrer oberen Hälfte zwischen die beiden Orbitae einschiebt. Nur das vordere Ende derselben ragt unter dem Schutze des prominirenden Nasendaches frei über die Gesichtsfläche hervor. Auf diese Weise gewinnt es den Anschein, als wenn sich der Gesichtstheil des Kopfes mit allen seinen Organen unter den vorderen Theil des Schädels zurückgezogen hätte, und zwar so weit, dass die Orbita in ganzer Ausdehnung von der Schädelhöhle und dem dieselbe erfüllenden Hirne überlagert werden konnte.

Aber nur der Mensch ist es, der diese Anordnung zeigt. Schon bei den Affen rückt der untere Theil der Nasenhöhle mit den umgebenden Knochen über die Orbita weiter hinaus, während andererseits die Schädelhöhle mit dem Hirne zurücktritt, so dass der obere Augenhöhlenrand in ziemlich grosser Ausdehnung von einer vorspringenden Knochenplatte gebildet ist.

Mit zunehmender Prognathie weichen Schädelhöhle und Nasenhöhle immer weiter aus einander. Die frühere Ueberlagerung verwandelt sich in eine Anlagerung, so dass wir in der Mehrzahl der Fälle schon bei äusserlicher Betrachtung an dem jetzt keilförmigen knöchernen Kopfe eine vordere nasale Region (den Gesichtstheil) und eine hintere cerebrale (den eigentlichen Schädel) unterscheiden können. Wo diese beiden Regionen zusammenstossen, da liegen rechts und links die Orbitae, der Art zwischen Schädel- und Nasenhöhle eingeschoben, dass die erstere nach Hinten und Oben, die andere aber nach Vorn und Unten daran sich anlagert. Gleichzeitig nähern sich die Spitzen der Orbitae unter der Schädelhöhle nicht selten in einem solchen Grade, dass die beiden *Foramina optica* zu einer gemeinschaftlichen Oeffnung zusammenfliessen, wie bei den Antilopen, dem kleinen Moschusthiere, Hasen u. a. Nach Vorn zu nehmen die Orbitae aber auch in diesen Fällen immer noch den hinteren und oberen Theil der Nasenhöhle zwischen sich.

Doch das ändert sich bei den niederen Wirbelthieren, deren Nasenhöhlen so wenig geräumig oder doch so wenig tief sind, dass die Orbitae in ganzer Aus-

1) Wenn es sich hier um eine vollständige Darstellung der mechanischen Beziehungen gehandelt hätte, die zwischen Oberkiefergerüst und Schädel existiren, so hätten ausser den oben hervorgehobenen auch noch andere stützende Verbindungen erwähnt werden müssen. Es gilt das namentlich von jener, die durch das Flügelgaumenbein gebildet wird, von einer Stütze, die namentlich bei den Säugethieren in ihrer mechanichen Bedeutung an die Interorbitalstütze sich anschliesst und gleich dieser denn auch bei der Beurtheilung der Augenhöhlenbildung mehrfach (z. B. für die Seehunde) in Betracht kommen dürfte.

dehnung hinter ihnen zu liegen kommen. Der Augentheil des Kopfes wird dann zu einer eigenen (orbitalen) Region, die — ausgenommen sind hier nur die nackten Amphibien und Plagiostomen, deren Augenhöhlen zu den Seiten des Hirnes liegen — den ganzen Querschnitt des Kopfes für sich in Anspruch nimmt und den eigentlichen Schädeltheil (mit dem Hirne) von dem vorderen nasalen Abschnitte des Kopfes abtrennt. So sehen wir es bei den Vögeln, den Eidechsen, Krokodilen, Schildkröten und Knochenfischen, deren Augenhöhlen in der Mittellinie auf einander stossen und nur eine dünne knöcherne oder knorpliche senkrechte Scheidewand zwischen sich nehmen. Da der hintere Rand dieser Platte an der Uebergangsstelle in die Schädelkapsel von dem gemeinschaftlichen *Foramen opticum* durchbohrt ist, so dürfen wir dieselbe wohl mit Recht als die mit einander verwachsenen vorderen Keilbeinflügel betrachten. Für diese Deutung spricht auch der Umstand, dass auf der obern Firste der Platte, zwischen ihr und dem dachförmig darüber ausgebreiteten Stirnbein ein Kanal hinzieht, der die Riechnerven in sich einschliesst und als Rest der sonst zwischen den Augenhöhlen hinziehenden oberen Nasenhöhle zu betrachten sein dürfte.

Nervus opticus.

A. Meckel, Anatomie des Gehirns der Vögel. Deutsches Archiv für Physiologie. Bd. II. 1816. S. 25.

Desmoulins, Anat. du syst. nerv. Paris 1825. T. I.

J. Müller, Zur vergl. Physiologie des Gesichtssinnes. S. 114—141.

Stannius, Das peripherische Nervensystem der Fische. Rostock 1849. S. 9—15.

Biesiadecki, Ueber das Chiasma nervorum opticorum des Menschen und der Thiere. Sitzungsber. der Wiener Acad. Bd. 42. S. 86—102.

Michel, Ueber den Bau des Chiasma nervorum opticorum. Archiv für Ophthalmologie. 1873. Bd. XIX. Abth. 2. S. 59—86.

§ 14. Der Sehnerv ist bei allen Wirbelthieren ein specifischer Sinnesnerv. Ausschliesslich für die Vermittlung der Gesichtseindrücke bestimmt, hat er die Form eines einfachen Stranges, der von dem *Foramen opticum* durch die Orbita hindurch an das hintere Segment des Augapfels tritt, dasselbe durchbohrt und sich im Innern becherförmig zu der Netzhaut (*Retina*) ausbreitet.

Der Durchmesser des Nerven richtet sich im Allgemeinen nach der Grösse des Auges. Bei den Walfischen ein Cylinder von 7—8 Mm. (ohne die umhüllende Bindegewebsmasse) wird derselbe bei den Thieren mit rudimentären Augen so dünn, dass er ohne optische Hülfsmittel kaum erkannt werden kann. Wo er eine ansehnliche Dicke besitzt, erscheint er bisweilen etwas abgeplattet, doch sind beträchtlichere Abweichungen von der Cylinderform nur selten. Am auffallendsten verhält sich in dieser Beziehung das Murmelthier, bei dem der Sehnerv nicht bloss (nach Sömmering) durch seine platte Form, sondern weiter auch noch dadurch sich auszeichnet, dass er in ganzer Länge von einer Furche durchzogen wird, als wenn er in zwei neben einander hinlaufende Zweige zerfallen wäre, wie das denn in der That auch von älteren Anatomen angenommen wurde.

Da die Bewegungen des Auges, wie die eines kugligen Gelenkkopfes um einen central gelegenen Drehpunct geschehen, der Augengrund mit der Insertionsstelle des Sehnerven sich dabei also eben so verschiebt, wie das vordere Augensegment, so ist es begreiflich, dass der Sehnerv im Innern der Orbita keinen ganz gestreckten Verlauf hat. Er ist länger, als die gerade Entfernung des Augengrundes von dem *Foramen opticum,* und das im Allgemeinen um so mehr, je freier und ausgiebiger die Bewegungen des Bulbus stattfinden. So bildet derselbe bei den Säugethieren mit *Retractor bulbi,* besonders den grösseren Arten, eine deutliche S-förmige Krümmung, die weit auffallender ist, als bei dem Menschen. Das Chamäleon, das vielleicht alle übrigen Wirbelthiere durch die Beweglichkeit seiner Augen übertrifft, hat einen Sehnerv, der trotz der geringen Tiefe der Orbita eine förmliche Schlinge macht, indem er abwärts, auswärts und dann wieder aufwärts, je nach der Lage des Auges sogar wieder einwärts geht, bevor er in dieses sich einsenkt (H. Müller). Das Gegenstück beobachten wir bei den Vögeln, besonders den Raubvögeln, deren Sehnerv einen fast straffen Verlauf hat und auch haben kann, da das Auge hier eine nur sehr geringe Verschiebbarkeit besitzt. Freilich ist dafür der Kopf dieser Thiere um so leichter und freier beweglich.

Bei den Lachsen, Hechten und anderen Fischen wird der *Nervus opticus* in ganzer Länge von einem elastischen schlanken Knorpelstabe begleitet, der von der Orbitalwand ausgeht und bis zur Sklera reicht. Aehnlich verhalten sich die Rochen und Haifische, nur dass der Knorpelstab hier eine beträchtlichere Dicke hat und durch ein förmliches Gelenk mit dem Bulbus in Verbindung steht.

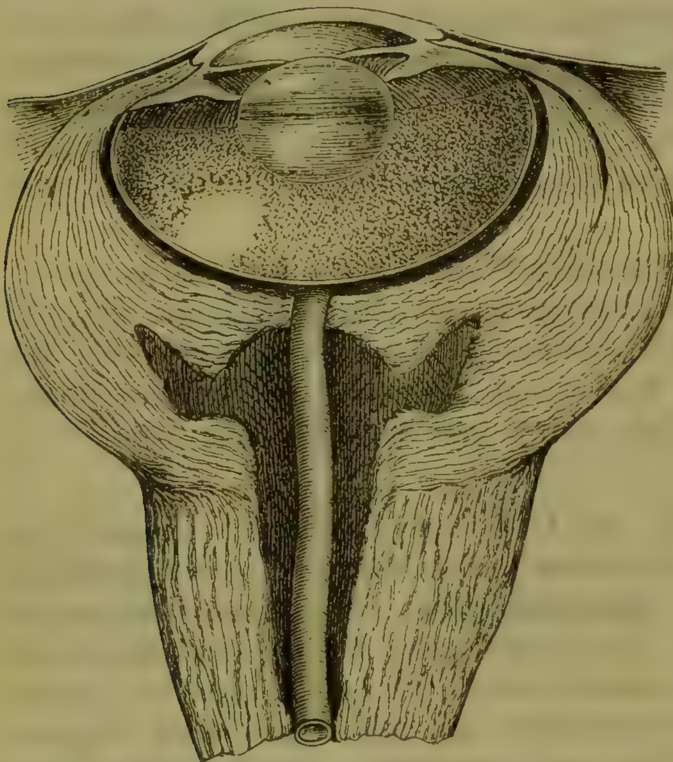
§ 15. Während des Verlaufes in der Orbita ist der Sehnerv überall von einer derben Scheide umgeben, die einerseits sich als eine directe Fortsetzung der *Dura mater* zu erkennen giebt, andererseits aber auch unmittelbar in die Bindesubstanz der Sklera übergeht. Im Umkreis des *Foramen opticum* hängt diese Scheide überdiess mit der oben geschilderten Faserhaut zusammen, welche die Orbita auskleidet und den Inhalt derselben von den benachbarten Organen isolirt. Beide Häute lässt man deshalb auch gewöhnlich durch Spaltung aus der durch das *Foramen opticum* hindurch tretenden harten Hirnhaut hervorgehen.

Aber nicht bloss die harte Hirnhaut ist es, die den Sehnerven überzieht, sondern auch die weiche, die der Marksubstanz dicht anliegt und schon an der Wurzel des Nerven, hinter dem Chiasma, auf denselben übergeht, um ihn fortan in Form eines Neurilemms zu begleiten. An Dicke und Festigkeit beträchtlich hinter der äusseren Scheide zurückstehend, erscheint dieselbe bei histologischer Untersuchung überall aus zarten Fibrillenbündeln zusammengesetzt, die aussen eine ringförmige Anordnung zeigen, während sie innen, wo sie die Nervensubstanz berühren, der Länge nach verlaufen.

Auch die äussere Scheide besteht aus zwei auf einander liegenden Schichten verschiedenen Faserverlaufes, aus einer inneren derben und festen Ringfaserschicht und einer äusseren Längsfaserlage mit Fibrillenbündeln, die sich nicht bloss durch ihre lockere Fügung, sondern auch durch eine beträchtlichere Dicke auszeichnen, meist auch eine Anzahl ziemlich ansehnlicher Gefässe zwischen sich nehmen.

Von allen hier in Betracht kommenden Theilen zeigt diese äussere Längsfaserlage die grössten und auffallendsten Unterschiede. Für gewöhnlich nur von unbedeutender Dicke, gewinnt dieselbe in manchen Fällen (unter den niederen Wirbelthieren beim Stör, sonst nur bei grösseren Säugethieren, beim Elephanten und den Cetaceen, besonders dem Walfisch) eine ganz colossale Entwicklung. Sie wird zu einer fast selbstständigen Scheide, die mit der unterliegenden Ringsfaserlage nur in losem Zusammenhange steht, so dass sie sich durch Lufteinblasen leicht davon trennen lässt. So namentlich beim Elephanten, bei dem zwischen beiden ein 4—5 Mm. breiter Raum bleibt, der nur hier und da von einem Gefässe oder von Bindegewebsbündeln durchsetzt wird und offenbar einen weiten Lymphraum darstellt. Aehnlich beim Walfisch, bei dem man diesen Raum sogar (Fig. 6) bis in den dicken Augengrund hinein verfolgen kann, in dem er zu einer förmlichen Höhle mit zwei einander gegenüber liegenden zipfelförmigen Hörnern sich ausweitet. Besonders schön sehe ich diese Höhle[1]) bei einem 18′ langen Embryo von Balaenoptera musculus, wo sie fast so weit ist, wie der eigentliche Augenraum; so dass der Bulbus hier zwei durch eine verhältnissmässig nur dünne Scheidewand von einander getrennte Hohlräume in sich einschliesst — eine auf den ersten Blick allerdings sehr überraschende Bildung.

Fig. 6.



Auge von *Balaenoptera* (verkleinert).

Bei den Elephanten misst diese äussere Umhüllung durchschnittlich etwa 4—5 Mm. So wenigstens bis zur Insertion in den Bulbus, wo dieselbe ziemlich plötzlich zu einer fest gefügten knopfförmigen Anschwellung sich verdickt, die reichlich den dritten Theil der Dimensionen des Auges hat und mit ihrer ganzen Vorderfläche in die Fasermasse des Bulbus übergeht. Noch auffallender verhalten sich die Cetaceen, besonders der Walfisch, bei dem diese Hülle eine ganz gewaltige birnförmige Masse bildet, die kaum kleiner ist, als der Bulbus, in den sie mit ihrer ganzen Breite sich fortsetzt. Der Zusammenhang ist ein so inniger, dass die hintere Grenze

1) Nach Eschricht soll diese Höhle besonders hinten ein Gewebe von kleineren Gefässen enthalten, das mit einem Plexus um den Sehnerven herum in Verbindung stehe, wie wir ihn später bei dem Delphin beschreiben werden. Olbers (Bemerkungen über den Bau des Auges zweier Thiere aus dem Geschlechte der Walfische, Abhandl. der physik. med. Societät zu Erlangen 1810. Bd. I. S. 457) lässt den betreffenden Raum von einem »fettigen Zellgewebe« gefüllt sein.

des Augapfels dadurch vollständig verwischt wird. Die tiefen Lagen dieser Fasersubstanz enthalten zahlreiche zarte Gefässe, die sich bei dem Delphin (Phocaena) zu einem wundernetzartigen Plexus entwickeln, der sowohl nach Aussen, wie nach Innen gegen den Sehnerv hin scharf begrenzt ist und sich bis tief in den Bulbus hinein verfolgen lässt.

Ob der oben beschriebene Hohlraum mit dem von SCHWALBE u. A. beobachteten intervaginalen Lymphraum des menschlichen Opticus zusammenfällt, der gleichfalls bis in den Bulbus hinein fortzieht, ist zweifelhaft, da letzterer nicht nach Aussen von der Ringfaserlage der Duralscheide, sondern nach Innen von derselben verlegt wird, wo in der That auch bei den höheren Wirbelthieren ein enger Spaltraum hinzieht. Die Ringfaserschicht der Duralscheide ist mit anderen Worten nicht fest mit dem Neurilemm in Zusammenhang, sondern lose damit verbunden, so dass es nur eines leisen Druckes bedarf, um beide zu trennen. Bei dieser Gelegenheit isolirt sich oftmals (Säugethiere, Vögel) noch eine besondere dünne Substanzlage, die zwischen die Dural- und Pialscheide eingeschoben ist und als Fortsetzung der Arachnoidea betrachtet zu werden pflegt. Sie besteht aus einer homogenen Lamelle, der einzelne scharf gezeichnete dünne Fasern aufliegen, die vornemlich die Längsrichtung einhalten, aber durch mehr oder minder complicirt verästelte Ausläufer netzartig unter sich zusammenhängen.

§ 16. Das der *Pia mater* zugehörige, vielfach (besonders reich beim Elephanten) von Capillaren durchzogene Neurilemm bildet übrigens nur in den wenigsten Fällen einen einfachen Ueberzug der Nervensubstanz. Bei der Mehrzahl der Wirbelthiere erhebt sich vielmehr die innere Längsfaserschicht in Falten und Fortsätze, die zwischen die Nervenfasern sich einsenken und in der Substanz des Opticus zu einem förmlichen Gerüste sich entwickeln, das die Faserzüge desselben in mehr oder minder charakteristischer Gruppirung gegen einander absetzt. Mit diesen Erhebungen werden auch zahlreiche, meist in der Längsrichtung verlaufende Blutgefässe in das Innere des Sehnerven übertragen.

Bei den Säugethieren hält die Anordnung der Falten im Wesentlichen denselben Typus ein, der für den Menschen oben schon bei mehrfacher Gelegenheit (Cap. I, § 12, Fig. 10; Cap. IV, § 6, Fig. 10) seine Darstellung gefunden hat. Allseitig in beträchtlicher Anzahl von dem Neurilemm sich erhebend, durchziehen die Falten hier unter vielfach wiederholter Spaltung und Wiedervereinigung die ganze Dicke des Sehnerven, so dass die Fasermasse desselben in zahlreiche säulenförmig neben einander liegende Bündel getheilt wird, die freilich nicht in ganzer Länge isolirt neben einander hinlaufen, sondern plexusartig hier getrennt sind, dort zu grösseren Strängen zusammentreten oder auch noch weiter sich zerspalten. Die Räume, die von den Falten begrenzt sind, bilden mit anderen Worten ein System von unregelmässig communicirenden Längsröhren, die je nach Umständen einen bald grösseren, bald kleineren Durchmesser haben. Der Mensch besitzt nach ungefährer Schätzung 800 solcher Röhrchen neben einander, mehr als der Ochs, der trotz der grösseren Dicke seines Sehnerven (4 : 3) deren nur etwa 550 aufweist.

Wo die Falten sich kreuzen und spalten, da verdickt sich die Bindesubstanz derselben zu förmlichen Längssträngen, die auf dem Querschnitte gewöhnlich eine dreikantige Form zeigen. In diesen Strängen verlaufen auch die Blutgefässe,

die freilich bis auf die *Vasa centralia* sämmtlich eine nur unbedeutende Weite besitzen. Die letzteren treten übrigens bei den meisten Säugethieren erst in geringer Entfernung von dem Bulbus in den Opticus über, so dass der Mensch mit seiner langen *Art. centralis retinae* eine Ausnahmestellung einnimmt.

Abweichend von dem hier geschilderten Verhalten ist die Bildung, die der Sehnerv bei den Vögeln darbietet. Wir untersuchen sie am besten bei einem Raubvogel, etwa dem Bussard (Fig. 7). Schon beim Durchschneiden fällt es auf, dass der Sehnerv, der bei den Säugethieren für das unbewaffnete Auge eine compacte Masse darstellt, hier einen entschieden blätterigen Bau hat. Unter dem Drucke des Messers löst sich derselbe in eine Anzahl über einander liegender Platten auf, die nur durch die umhüllende Scheide zusammengehalten werden.

Fig. 7.



Querschnitt des *Nervus opticus* beim Bussard

Mit Hülfe des Mikroscopes erkennt man, dass diese (bisher bloss von Desmoulins beim Adler gesehenen) Platten durch faltenförmige Erhebungen des Neurilemms von einander getrennt sind. Ich zähle bei dem Bussard etwa ein Dutzend solcher Falten. Sie entspringen sämmtlich an der Innenfläche des Nerven und ziehen von da in nahezu paralleler Richtung bis über die Mitte hin nach Aussen. Die Fasermasse des Sehnerven wird durch diese Falten also in Blätter getheilt, die in horizontaler Schichtung über einander liegen, am Aussenrande aber zu einer gemeinschaftlichen Masse zusammenschmelzen. Mit Ausnahme der oberen und unteren haben die Blätter so ziemlich dieselbe Dicke, was jedoch nicht ausschliesst, dass zwei benachbarte Blätter (durch Verkürzung der Falten) gelegentlich mit einander verschmelzen. Da auf den Querschnitten überdiess nicht alle Blätter bis zum Innenrande reichen, einzelne vielmehr schon in einiger Entfernung davon ihr Ende erreichen, so darf man wohl annehmen, dass diese Blätter eben so wenig in ganzer Länge des Nerven scharf von einander gesondert sind, wie es von den Faserbündeln der Säugethiere bekannt ist.

Die Verbindung der Neurilemmfalten mit der Nervensubstanz ist übrigens so locker, dass beide schon bei leisem Drucke aus einander weichen. Sie sind durch einen engen Spaltraum getrennt und werden nur dadurch vereinigt, dass von Zeit zu Zeit von den ersteren eine dünne Seitenfalte abgeht, die meist rechtwinklig in die anliegende Fasermasse eintritt, darin auch gelegentlich sich spaltet, dann aber der Untersuchung sich entzieht. Zu einer strangförmigen Abgrenzung einzelner Bündel kommt es in den Blättern nirgends. Wohl aber an der Aussenfläche des Nerven, besonders in der Nähe des unteren Randes.

Die faltenförmigen Erhebungen des Neurilemms sind nämlich nicht so ausschliesslich auf die Innenhälfte des Sehnerven beschränkt, wie es nach den bisherigen Angaben scheinen könnte. Auch an der Aussenfläche erhebt sich eine Anzahl von Falten, aber dieselben sind nicht bloss schwächer und sehr viel niedriger, als die Falten der Innenfläche, sondern auch unregelmässig verästelt und an einzelnen Stellen mit den gegenüberliegenden Ausläufern der Art in Zu-

sammenhang, dass auf Querschnitten dadurch Bilder entstehen, die sich von der netzförmigen Anordnung der Septa bei den Säugethieren fast nur durch eine schwächere Zeichnung unterscheiden.

Wo diese Netzbildung stärker hervortritt und auf Kosten der blätterigen Anordnung gleichmässiger durch den Sehnerven sich verbreitet, da ist die Aehnlichkeit mit dem Verhalten der Säugethiere natürlich noch auffallender. So sehe ich es z. B. bei der Trappe und dem Truthahn, die beide freilich insofern immer noch den Vogeltypus einhalten, als die von den Falten umfassten Opticusbündel nicht bloss in verschiedenem Grade abgeplattet sind, sondern sich auch in der Richtung ihrer Fläche weit vollständiger und schärfer gegen einander absetzen, als an den Seitenrändern.

Die Eigenthümlichkeiten, die sich in der Bildung des Opticusgerüstes bei den Vögeln kund thun, kann man hiernach darauf zurückführen, dass sich die Septa bei diesen Thieren in Haupt- und Nebenfalten differenziren, von denen die ersteren dann einen mehr regelmässigen Verlauf einhalten. Wie es übrigens Vögel giebt (Hühnervögel), bei denen die Nebenfalten eine verhältnissmässig starke Entwicklung besitzen, so giebt es auch solche, bei denen das Gegentheil obwaltet, so dass die Markmasse des Opticus dann fast allein von den queren Hauptfalten durchzogen wird. Wenn dabei gleichzeitig, wie es öfters geschieht, die Zahl dieser Falten sich verringert (beim Reiher zähle ich deren nur 3 oder 4), dann nimmt der Sehnerv natürlich auch eine mehr gleichmässige Beschaffenheit an.

Je nach der Anordnung des Opticusgerüstes zeigt übrigens auch die Durchtrittsöffnung der Sclerotica bei Säugethieren und Vögeln eine verschiedene Beschaffenheit. Bei den ersteren bekanntlich, wie bei dem Menschen, eine förmliche *Lamina cribrosa*, erscheint dieselbe bei den Vögeln als eine einfache Reihe von Löchern, die durch quere Faserzüge gegen einander sich absetzen. Dass es die Hauptfalten des Opticusgerüstes sind, die diese Bildung bedingen, braucht eben so wenig, wie die Uebereinstimmung im Bau der *Lamina cribrosa* mit dem Faltensysteme der Säugethiere, ausdrücklich hervorgehoben zu werden.

In der Gruppe der Amphibien gehen die Verschiedenheiten in dem Bau des Opticusgerüstes noch weiter aus einander. Während manche, wie die Nattern, sich in der Anordnung des Faltensystemes kaum von den Säugethieren unterscheiden, zeigen andere eine viel einfachere Bildung. So besitzen z. B. die Seeschildkröten trotz der ansehnlichen Dicke des Opticus nur einige wenige Falten (je ewa 4—6), die überdiess nur niedrig bleiben und nach kurzem Verlaufe von dem Neurilemm sich ablösen, um dann unter der Form selbstständiger Bindegewebssäulen mit je einem einfachen oder doppelten Gefässe im Innern ihren Verlauf durch die Sehnervensubstanz hindurch fortzusetzen. Da nun diese Säulen nicht selten sich spalten, auch wohl durch eine zarte Lamelle in Verbindung stehen, so liegt die Annahme nahe, dass dieselben ein zusammenhängendes System bilden, das sich dann nur durch seine ausserordentliche Lückenhaftigkeit und seine ärmliche Entwicklung von dem Opticusgerüste der Schlangen unterscheiden würde. In dem Opticus des Frosches ist das ganze Gerüst auf einige dünne und zarte Längsfalten beschränkt, die dem Neurilemm aufsitzen, aber nur niedrig sind und schon in kurzer Entfernung vom Rande des Sehnerven sich nicht mehr

unterscheiden lassen. (Dass der Opticus des Frosches, wie Hannover angiebt, in Form eines Halbkanales gefaltet sei, finde ich nicht bestätigt.)

Ein ähnliches Verhalten, wie beim Frosche, sehe ich auch bei manchen Fischen, und das zum Theil sogar bei solchen Arten, die, wie z. B. der Hecht und Kabliau, einen Sehnerven von beträchtlicher Dicke besitzen. Der Opticus bildet in solchen Fällen eine zusammenhängende Masse von Nervensubstanz und Neuroglia, die, wie im Hirne, von gröberen und feineren Capillaren durchzogen ist, ohne dass man im Umkreise derselben die hier sonst vorkommende faserige Bindesubstanz unterscheiden könnte. Die Entwicklung der Falten scheint, wie der Gefässreichthum, je nach der Dicke des Opticus zu wechseln, doch bleiben die ersteren immer nur zart und niedrig, so dass sie sich nirgends tief in die Substanz des Opticus hinein verfolgen lassen.

Neben diesen Fischen mit strangförmigem Sehnerven stehen nun aber andere, die, wie man — allerdings nicht ganz mit Recht — gewöhnlich sagt, einen Opticus von membranöser Bildung besitzen. Seitdem Malpighi diese »Bandform« des Sehnerven zuerst beim Schwertfisch beobachtete, hat sich die Zahl der Fische mit gleicher Bildung so beträchtlich vermehrt, dass ihr allem Anschein nach die bei Weitem grössere Menge der Arten mit knorpelichem sogut, wie auch mit knöchernem Skelete zugehört. J. Müller bemerkt sogar, bei seinen Untersuchungen nie eine andere als diese membranöse Bildung des Sehnerven unter den Fischen beobachtet zu haben und nennt dabei auch den Hecht, sowie (nach Cuvier) den Kabliau, für die ich oben auf Grund meiner eigenen Untersuchungen ein anderes und einfacheres Verhalten beschrieben habe.

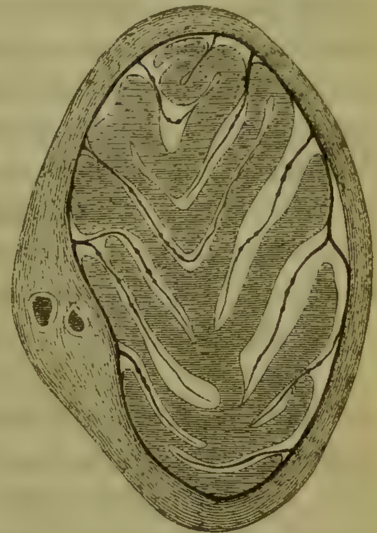
Wie übrigens schon angedeutet, ist der Sehnerv dieser Fische nicht eigentlich membranös, sondern in unverletztem Zustande von gewöhnlicher Cylinderform, höchstens etwas abgeplattet. Er wird nur deshalb als membranös bezeichnet, weil er sich nach der Entfernung seiner Scheide mehr oder minder vollständig zu einem längsgefalteten breiten (öfters zollbreiten) Bande aus einander legen lässt. Und diese Eigenschaft verdankt er dem Umstande, dass seine Nervenmasse durch eine Anzahl tiefer, alternirend einander gegenüber stehender Neurilemmfalten in eine entsprechende Menge knieförmig verbundener Blätter getheilt ist, die sich um so leichter entfalten, als ihre Flächen gewöhnlich ohne weitern Zusammenhang sind, ja, wie es scheint, in der Regel sogar durch spaltförmige Lymphräume von einander abgetrennt werden. Die Neurilemmfalten, welche die freien Flächen überziehen, sind zugleich die Träger der Blutgefässe.

Im Einzelnen zeigt die hier beschriebene Bildung übrigens mancherlei Verschiedenheiten, die eben sowohl in der Zahl, wie in der mehr oder minder regelmässigen Anordnung der Neurilemmfalten ihren Ausdruck finden. Selbst in Bezug auf die Tiefe der Falten ergeben sich bei näherer Untersuchung gewisse Unterschiede, so dass es nicht allzu schwierig erscheint, diese »bandförmige« Beschaffenheit des Opticus mit dem Verhalten des Hechts und Kabliaus in Beziehung zu bringen. Bei dem Aal glaube ich auch in der That eine förmliche Zwischenform zwischen den beiderlei Typen beobachtet zu haben.

Eines der schönsten Beispiele derartiger Bandbildung finden wir bei dem Barsch, dessen Sehnerv jederseits von drei sehr regelmässig alternirenden tiefen Falten durchsetzt wird. Bei den Weissfischen steigt deren Zahl auf 4 und 5, allein die Falten sind ungleich tief und weniger regelmässig gruppirt, so dass das Aus-

sehen der Querschnitte mehrfach abweicht. Noch auffallender ist diese Bildung beim Lachs, dessen 6—8 Faltenpaare an manchen Stellen, statt zu alterniren, einander gegenüber stehen und dann gewöhnlich nur bis zur Mitte der Sehnervensubstanz eingreifen, so dass die Verbindung der Blätter dann von dem Rande gleichfalls in die Mitte verlegt ist (Fig. 8). An solchen Stellen lässt sich der Sehnerv auch natürlich nur unvollständig entfalten, und das besonders da, wo derartige Communicationen, wie es oftmals der Fall ist, an mehreren auf einander folgenden Blättern sich wiederholen. Auf der sonst flächenhaft ausgebreiteten Masse sieht man die unregelmässig zusammenhängenden Lamellen dann in Form von mehr oder minder hohen Längsleisten hinziehen.

Fig. 8.



Querschnitt durch den Opticus des Lachs.

§ 17. Die Sehnerven des Menschen bilden bekanntlich vor ihrem Eintritte in die Augenhöhle ein sog. Chiasma, das dicht vor dem Infundibulum, unterhalb des dritten Ventrikels, dem Hirne anliegt. Wenn wir dieses Chiasma ganz allgemein als eine Kreuzung auffassen, in Folge deren die Sehnerven an die Augen der gegenüberliegenden Seite treten, der rechte Sehnerv also an das linke Auge und umgekehrt, dann dürfte dasselbe wohl eine gemeinschaftliche Eigenthümlichkeit aller Wirbelthiere darstellen. Nach der (besonders durch J. Müller vertretenen) gewöhnlichen Auffassung soll eine solche Kreuzung allerdings den Cyclostomen fehlen, so dass die Optici hier nach Art der übrigen Körpernerven geraden Weges zum Auge derselben Seite hinliefen, allein diese Angabe ist hinfällig geworden, seitdem durch Langerhans [1]) die alte Beobachtung von Rathke ihre Bestätigung gefunden hat, nach der bei Petromyzon der *Tractus opticus* bereits innerhalb der Substanz des *Lobus ventriculi tertii* eine Kreuzung eingehe. In der Voraussetzung, dass sich Myxine eben so verhalte, dürfen wir die Eigenthümlichkeiten dieser niederen Fische hiernach auf den Umstand beschränken, dass das Chiasma derselben in die Masse des Hirnes selbst verlegt ist und somit als ein vollständiges Gegenstück zu der bekannten Kreuzung in den Pyramidensträngen des verlängerten Markes erscheint. Dass übrigens das Chiasma auch sonst mehr dem Hirne als dem peripherischen Nervensystem zugehört, beweist nicht bloss die graue Substanz, die bei den höheren Wirbelthieren die obere und untere Fläche desselben in dünner Lage deckt (Cap. IV, § 2), sondern auch die von Hirnfasern gebildete Quercommissur, die dem hinteren Winkel des Chiasma mehr oder minder innig sich anschmiegt, so dass man sie leicht für einen Theil des Sehnerven selbst halten könnte und in der That auch (Stannius, Hannover) gehalten hat. Am ansehnlichsten ist diese Commissur bei den Fischen, bei denen sie nicht selten auch in zwei auf einander folgende Bogen zerfallen ist, und den Amphibien, aber gerade bei diesen Thieren kann man (Biesiadecki) in überzeugendster Weise den Beweis liefern, dass sie mit dem Sehnerven keinerlei Verbindung eingeht.

1) Untersuchungen über Petromyzon Planeri. Freibg. 1873. S. 94.

Dass die Kreuzung der Sehnervenfasern im Chiasma eine ganz vollständige ist, kann für die Knochenfische nicht dem geringsten Zweifel unterliegen. Besteht doch bei diesen Thieren das Chiasma ganz einfach in einer kreuzförmigen Ueberlagerung der beiden Nerven, bei der entweder der rechte oder der linke — beide Fälle scheinen gleich häufig zu sein — der obere ist. Der Zusammenhang wird ausschliesslich durch das Neurilemm vermittelt, ist also ganz oberflächlich, so dass beide Nerven sich mit grösster Leichtigkeit lösen. In einigen Fällen wird aber schon bei den Knochenfischen der Bau des Chiasma etwas modificirt. So beim Häring, bei dem der Opticus des rechten Auges die schlitzförmig aus einander weichende Fasermasse des gegenüber liegenden Nerven durchbohrt (Weber), und mehr noch beim Brassen, bei dem beide Nerven sich spalten und mit ihren Strängen sich kreuzen, wie zwei Finger der rechten und linken Hand (Hannover).

Nach den Untersuchungen, die Stannius über die Sehnerven der Rochen angestellt hat, scheinen sich die Plagiostomen (und Ganoidfische) durch den Bau ihres Chiasma unmittelbar an den Brassen anzuschliessen. In der Richtung von Oben nach Unten unterscheidet man bei ihnen zunächst ein Faserbündel, das aus dem rechten *Tractus opticus* in den linken Sehnerven übergeht. Auf dasselbe folgt ein stärkeres Bündel, das den entgegengesetzten Verlauf einhält, dann wieder eines von Rechts nach Links und nochmals ein schwaches Bündel, das von Links nach Rechts läuft. Die Bündel sind fest mit einander vereinigt, so dass das Chiasma eine einzige zusammenhängende Nervenmasse darstellt, allein trotzdem hat es den Anschein, als wenn die Fasern sammt und sonders an der Kreuzung sich betheiligten, der Unterschied von dem gewöhnlichen Verhalten der Knochenfische also nur darin bestehe, dass die Kreuzung nicht auf ein Mal geschieht, sondern successive durch eine Anzahl über einander liegender Bündel vermittelt wird.

Die Aehnlichkeit, die das Chiasma der Knorpelfische äusserlich mit dem der höheren Wirbelthiere besitzt, muss uns natürlich von vorn herein geneigt machen, auch für die letzteren eine einfache Kreuzung der Sehnervenfasern anzunehmen. In der That waren auch die früheren Anatomen fast durchgehends dieser Ansicht, bis J. Müller derselben mit grosser Entschiedenheit entgegentrat, allerdings weniger auf Grund directer anatomisch-histologischer Untersuchung, als mit dem Gewichte einer eben so scharf gedachten, wie geistvoll durchgeführten Hypothese. J. Müller war nämlich auf deductivem Wege zu der Ueberzeugung gekommen, dass die Existenz der identischen Netzhautstellen (§ 7) eine Identität der Leitung voraussetze, dass identische Netzhautstellen mit anderen Worten immer nur durch Zweige derselben Nervenfasern versorgt würden. Die Vereinigung dieser Zweige zu einer »Mutterfaser« konnte natürlich nur in dem Chiasma geschehen: das Chiasma der Thiere mit identischen Netzhautstellen — und das waren nach J. Müller nur die höheren Wirbelthiere — musste also eine um so grössere Masse gespaltener Opticusfasern enthalten, je mehr die räumliche Ausdehnung der identischen Netzhautstellen zunahm. Das Chiasma des Menschen mit ganz identischen Gesichtsfeldern und das der Fische mit ganz differenten Gesichtsfeldern ergaben sich hiernach als Extreme, zwischen denen die Bildung des Chiasma bei den Thieren mit mehr oder minder starker Divergenz der Augenachsen zu vermitteln hatte. Auf welche Weise dieses geschehe, blieb natürlich der empirischen Forschung zur Feststellung vorbehalten, doch lag es in Anbetracht

des Umstandes, dass die identischen Stellen bei diesen Thieren ausschliesslich dem äusseren Segment der Netzhaut angehören, nahe, zu vermuthen, dass es hier auch nur die äusseren Opticusfasern sein würden, die der Spaltung unterliegen.

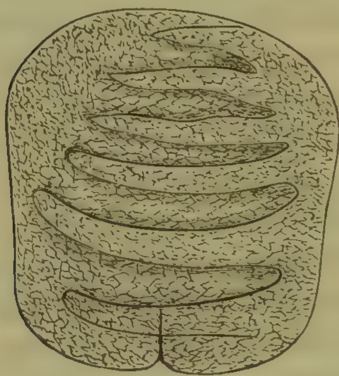
In dem Chiasma der höheren Wirbelthiere giebt es nach J. Müller also zweierlei Nervenfasern, solche, die zu differenten Netzhautstellen gehen und sich einfach kreuzen, und daneben andere, die sich an der Kreuzungsstelle spalten und mit ihren Zweigen dann die identischen Stellen beider Netzhäute versorgen. Die ersteren nehmen in der Wurzel des Chiasma eine mediane, die anderen eine laterale Lage ein. Natürlich versteht es sich dabei von selbst, dass der eine Zweig der letzteren auf derselben Seite fortläuft, auf der die Mutterfaser in das Chiasma eintrat. Da dieser Zweig nun aber gewissermaassen die directe Fortsetzung der eintretenden Faser darstellt, so erklärt es sich, wenn J. Müller gewöhnlich als Vertreter, ja selbst Begründer der Annahme bezeichnet wird, nach welcher das Chiasma der höheren Wirbelthiere aus Fasern bestehe, die sich kreuzten, und solchen, die ohne Kreuzung zu dem Auge derselben Seite fortliefen. Spätere Beobachter haben sich allerdings kurzweg in dieser Weise ausgesprochen — ja einzelne sogar, wie namentlich Hannover (vgl. Cap. IV, § 2) die Ansicht von dem differenten Faserverlauf noch weiter fortgeführt —, aber die Ansicht von J. Müller ist streng genommen doch eine andere. Sie statuirt, um es in Kürze zu wiederholen, eine Kreuzung sämmtlicher Fasern, nimmt dabei aber an, dass die äusseren derselben vor ihrer Kreuzung einen in der Richtung der eintretenden Faser — d. h. ohne Kreuzung — fortlaufenden Zweig abgeben.

§ 18. Die voranstehend erörterte Ansicht von J. Müller beruht auf einer so scharfsinnigen Combination und bietet für eine sonst nur dunkle physiologische Erscheinung eine so einfache Erklärung, dass wir es fast bedauern, sie nicht durch neuere Beobachtungen bestätigt zu sehen. Die Theilung der Nervenfasern ist weder von Müller noch einem der spätern Forscher direct beobachtet; auch die Existenz gerade fortlaufender Fasern wird immer zweifelhafter; nach den jüngsten Mittheilungen (von Biesiadecki und Michel) müssen wir es fast für ausgemacht halten, dass auch bei den höheren Wirbelthieren in dem Chiasma eine einfache und vollständige Kreuzung der Fasern stattfindet. Freilich ist die Untersuchung ebenso delicat, wie schwierig, zumal die Opticusfasern vielfach so zart und so schwer zu verfolgen sind, dass man z. B. für die Fische lange Zeit hindurch deren Anwesenheit in Abrede stellen konnte.

Zur Stütze seiner Ansicht berief sich J. Müller vornehmlich auf das anatomische Verhalten des Chiasma bei den Vögeln und Amphibien. In der That ist auch das Bild, das man bei Querdurchschnitten hier gewinnt, auf den ersten Blick einer derartigen Auffassung nicht ungünstig. Da, wo beide Sehnerven in Verbindung treten, in der Mittellinie des Chiasma, sieht man (Fig. 9, 11, 12) auf der Schnittfläche eine zickzackförmige Begrenzungslinie hinziehen. Die Berührungsflächen des Nerven lösen sich, wie zuerst von Carus (und A. Meckel) näher nachgewiesen ist, bei den genannten Thieren in eine bald grössere, bald auch geringere Anzahl von Blättern auf, die keilförmig in einander greifen und Fasern resp. Faserbündel verschiedener Richtung in sich einschliessen. Die Fasern der rechten Blätter verlaufen nach links und umgekehrt die der linken Blätter nach

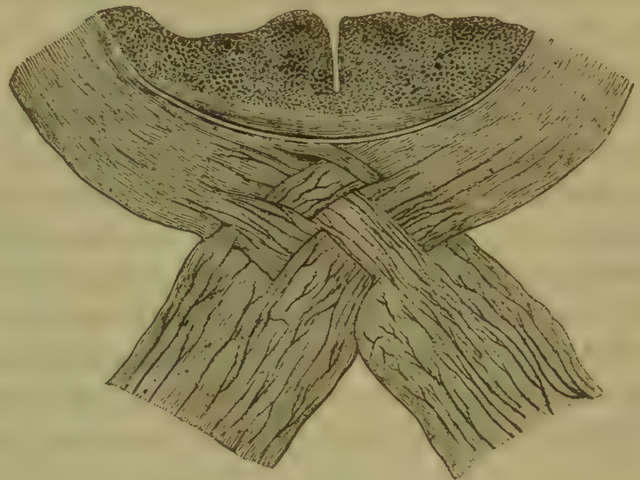
rechts, so dass die Mitte des Chiasma von Fasern gebildet wird, die eine deutliche Kreuzung eingehen. Man erkennt das nicht bloss bei mikroscopischer Untersuchung, sondern schon mit unbewaffnetem Auge, sobald man die Schnittfläche in auffallendem Lichte betrachtet, indem die Blätter dann in Folge einer ungleichen Reflexion auf der einen Seite hell, auf der anderen Seite aber dunkel erscheinen. Die Fasern der Seitenränder, die sich an der Blätterbildung nicht betheiligen, verhalten sich dabei indifferent, in welcher Richtung man sie auch betrachten mag. Sie sind, wie das Mikroscop nachweist, durch den Querschnitt rechtwinklig getroffen, so dass es den Anschein hat, als wenn sie, wie das J. Müller auch annahm, gerade nach vorn liefen.

Fig. 9.



Querschnitt durch das Chiasma des Bussard.

Fig. 10.



Chiasma opticum eines Vogels im Längsschnitt. (Nach Michel.)

An horizontalen Längsschnitten (Fig. 10) aber gewinnt man sehr bald die Ueberzeugung, dass dieser gerade Verlauf nur eine Strecke weit anhält. Nach einiger Zeit biegen die Fasern von den Seitenrändern ab, um nach Innen in die Blätter einzutreten und mit diesen dann in die Bahn des gegenüberliegenden Nerven überzulenken. Die Kreuzung betrifft successive sämmtliche Faserzüge der Nerven; sie ist nach Biesiadecki und Michel in der That vollständig.

Auf diese Weise erklärt es sich auch, warum das Chiasma der Amphibien, die, der geringeren Augengrösse entsprechend, auch eine relativ nur geringe Menge von Fasern in ihren Sehnerven enthalten, Blätter besitzt, die (Fig. 12) fast

Fig. 11.

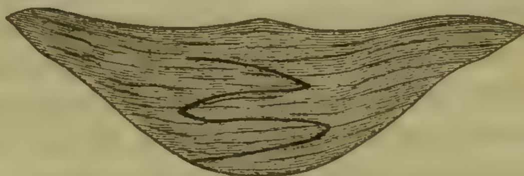


Fig. 12.



Querschnitte durch das Chiasma der Ringelnatter. Fig. 11 an der Wurzel, Fig. 12 mehr vorn.

durch die ganze Schnittfläche hindurchgreifen, während bei den Vögeln nach Aussen von den Blättern meist noch eine ziemlich dicke Lage von scheinbar gerade fortlaufenden Fasern hinzieht.

Wie die Breite, so wechselt aber auch die Zahl der Blätter, welche die Kreuzung eingehen: sie wechselt sogar bei demselben Thiere, je nachdem man den Schnitt an dieser oder jener Stelle durch das Chiasma hindurch legt. So zähle ich bei der Ringelnatter (Fig. 11, 12) hinten nur vier Blätter (zwei jederseits), weiter vorn aber sechs oder gar acht, während J. Müller bei demselben Thiere fünf fand. Die Verschiedenheiten erklären sich dadurch, dass die Blätter in ihrem Verlaufe bald zerfallen, bald auch wieder verschmelzen, so dass also die Durchflechtung derselben mancherlei Unregelmässigkeiten darbietet. Im Ganzen ist übrigens die Zahl der Blätter bei den Amphibien geringer, als bei den Vögeln (Fig. 9), bei denen man gewöhnlich 12—15 oder noch mehr (bei der Krähe nach Meckel bis zu 30) antrifft.

Bei näherer Untersuchung ergiebt sich die weitere Thatsache, dass die Blätter — der Frosch mit seinen sechs Blättern macht freilich eine Ausnahme — selbst wieder aus Bündeln bestehen, die in grosser Menge neben und über einander liegen und eine meist deutliche Abplattung besitzen. Aber auch diese Bündel sind vielfach plexusartig unter sich in Zusammenhang. Was sie und die Blätter von einander trennt, das sind die schon im Opticus von uns vorgefundenen und beschriebenen Neurilemmfortsätze, die bei Vögeln und Amphibien durch das ganze Chiasma hindurchziehen und im Innern desselben sogar weit stärker und vollständiger sich entwickeln, als in dem eigentlichen Sehnerven. Es gilt das namentlich von den scheidenförmigen Umhüllungen der einzelnen Faserbündel, die eine so beträchtliche Dicke erreichen, dass der früher so merkliche Unterschied zwischen ihnen und den plattenartig zwischen die Blätter sich einsenkenden Falten kaum noch nachweisbar ist.

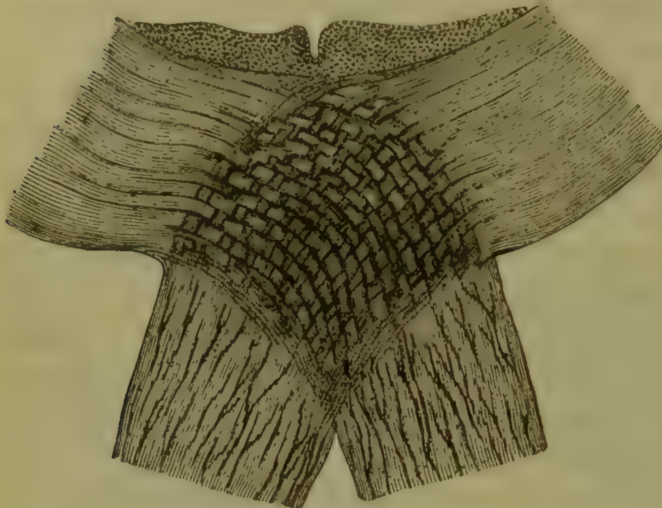
Die Entwicklung dieser Fortsätze bringt es auch mit sich, dass die Marksubstanz im Chiasma einen viel festeren Zusammenhang besitzt, als im Opticus. Allerorten sind die bindegewebigen Hüllen mit den von ihnen umschlossenen Fasern in enger Berührung.

In den nach Aussen aus dem Chiasma hervortretenden Sehnerven nimmt das Gerüste übrigens ziemlich bald den schon früher uns bekannt gewordenen Charakter an. Die Bätterbildung erlischt entweder vollständig (Amphibien) oder unterliegt doch (Vögel) einer mehr oder minder bedeutenden Rückbildung. Ebenso verhält es sich mit den Faserbündeln des Chiasma, die nur bisweilen, wie wir es oben für die Ringelnatter hervorgehoben, durch die ganze Länge des Sehnerven hindurch sich verfolgen lassen.

Je ansehnlicher nun aber die Entwicklung ist, die das Bindegewebsgerüste im Chiasma der Amphibien und Vögel besitzt, desto auffallender erscheint das gänzliche Fehlen desselben im Chiasma der Säugethiere. Allerdings sind auch bei diesen die Fasern im Chiasma, wie im Opticus, bündelweise zusammengruppirt, aber die einzelnen Bündel entbehren der für die ersteren oben beschriebenen Bindegewebshüllen, so dass sie denn auch weit schwieriger in ihrem Verlaufe zu verfolgen sind, als das bei den Amphibien und Vögeln der Fall war. Trotzdem aber kann man nach den Untersuchungen Michel's kaum zweifeln, dass sie gleichfalls einer vollständigen Kreuzung unterliegen. Nur insofern besteht bei den Säugethieren ein Unterschied von dem früher beschriebenen Verhalten, als die Opticusbündel bei ihnen isolirt bleiben und nicht erst zu Blättern und grösseren Strängen zusammentreten, bevor sie sich kreuzen (Fig. 13).

Diese Isolation der Bündel erlaubt übrigens nicht bloss eine feinere, sondern auch eine viel vollständigere Verflechtung, die sich oftmals während des Verlaufes wiederholt, so dass man bei der Untersuchung wohl gelungener Flächenschnitte unwillkürlich an das Bild einer Strohmatte erinnert wird. Solcher Schichten liegen bei der Dicke des Nerven natürlich viele über einander, durch Bündelaustausch zu einem zusammenhängenden Flechtwerk unter sich vereinigt.

Fig. 13.



Chiasma opticum eines Säugethieres im Längsschnitt. (Nach Michel.)

In der Gesammtentwicklung des Chiasma bei den Wirbelthieren spricht sich somit ganz unverkennbar die Tendenz einer immer complicirteren Verflechtung aus. Aus einer einfachen Kreuzung und Durchbohrung wird dasselbe schliesslich zu einem Geflechte, dessen einzelne Stränge sich plexusartig immer feiner und vollständiger in verticaler Richtung so gut wie im horizontalem Verlaufe durchsetzen.

Bulbus.

1. Grösse und Form.

Sömmering, l. c.
Treviranus, a. a. O. S. 20—51.

§ 19. Es ist in vollständiger Uebereinstimmung mit den früher (§ 4 C, § 5) entwickelten Gesichtspuncten, wenn wir sehen, dass die Wirbelthiere, von allen Geschöpfen bekanntlich die grössten und schnellsten, auch von allen durchschnittlich die grössten Augen haben. Mit der Grösse der Augen, wenigstens dem Abstande der Linse von der Netzhaut, wächst die Flächenausdehnung des Gesichtsbildes, also voraussichtlich auch die Menge der erregten Empfindungspuncte oder, was dasselbe besagt, die Specification des Gesehenen. Ein grosses Auge macht die Thiere also scharfsichtig, bringt Vortheile mit sich, die besonders dann von Werth sind, wenn es gilt, ferne Gegenstände zu analysiren, wenn es sich mit anderen Worten um rasch bewegliche Thiere handelt.

Auf diese Weise erklärt sich denn auch die ansehnliche Grösse, die das Auge der Vögel besitzt, obwohl doch sonst gerade die Organe des Kopfes bei diesen Thieren an Masse und Gewicht so beträchtlich zurückstehen. Der Waldkauz besitzt Augen, die reichlich ein Drittheil des gesammten Kopfes wiegen (12,6 : 40 Gr.), und ähnlich verhält es sich bei der Thurmschwalbe (1,3 : 3,8 Gr.). Das Verhältniss wird noch frappanter, wenn wir hinzufügen, dass die Augen der

Rauchschwalbe (0,65 Gr.) ungefähr den dreissigsten Theil des gesammten Körpers repräsentiren, während die der Glattnatter, welche nahezu das gleiche Reingewicht besitzt (20 Gr.), nur den tausendsten Theil (0,02 Gr.) in Anspruch nehmen. Allerdings sind die Amphibien im Gegensatz zu den Vögeln gerade diejenigen Wirbelthiere, deren Augen durchschnittlich die geringste Grösse haben.

Bei derartigen Zusammenstellungen muss man sich übrigens zunächst auf solche Thiere beschränken, die von gleichem oder doch annäherungsweise gleichem Gewichte sind. Denn mit zunehmender Körpermasse wächst auch die Grösse der Augen, ein Umstand, der uns nicht überraschen kann, da das absolute Maass der Schnelligkeit — gleiche Anordnung der Muskelkräfte vorausgesetzt — bei grösseren Thieren auch grösser ist, als bei kleineren. Freilich ist es eben nur das absolute Maass, das dieses Uebergewicht zeigt, und nicht das relative, das vielmehr zu Gunsten der kleineren Geschöpfe ausfällt. Wir sehen diesen Unterschied auch in der Grösse der Augen sich ausdrücken, denn im Verhältniss zur Körpermasse haben die kleineren Wirbelthiere in der That durchschnittlich die grössten Augen, wie das schon von Haller hervorgehoben ist (»magnitudo oculorum est fere in ratione inversa animalium«, Elem. physiol. L. XVI. S. II. § 1). Am deutlichsten erscheint das natürlich bei solchen Thieren, die in ihrer Bewegungsweise und Lebensart am meisten unter sich übereinstimmen, wie z. B. bei den Katzen, unter denen z. B. die Wildkatze relativ grössere Augen hat, als der Luchs und dieser wieder grössere, als der Löwe. (Bei einer Hauskatze von 1600 Gr. Reingewicht finde ich Augen von 11 Gr., also 1 : 145.) Ebenso ist das Auge des Walfisches trotz seiner bedeutenden Grösse — ich messe an dem Auge von Balaenoptera musculus einen Querdurchmesser von 12 und eine Achse von 7,5 Cm., Längen übrigens, die (vgl. Fig. 6) nur für die äussere Begrenzung und nicht für den Innenraum gelten, der auf 7 und resp. 3,5 Cm. reducirt ist — im Verhältniss zu der gewaltigen Körpermasse, zu den Tausenden von Centnern, die das Thier wiegt, weit kleiner, als bei der grössten Mehrzahl selbst der sonst nur mit kleinen Augen ausgestatteten Amphibien. Das Auge des Elephanten und Rhinoceros steht sogar an absoluter Grösse hinter dem des Pferdes (mit 48 Mm. Breite und 43 Mm. Tiefe) zurück, eines Thieres, von dem Sömmering bemerkt, dass es mit dem Strausse, dessen Auge ungefähr dieselben Dimensionen hat (Querdurchmesser 45 Mm., Achse 41), überhaupt von allen Landthieren die grössten Augen besitze. Nach Tiedemann (Zoologie Bd. II. S. 50) verhält sich unter den Vögeln das Gewicht der Augen zu dem des Körpers beim Wiedehopf wie 1 : 45, beim grossen Buntspecht wie 1 : 56, bei der Elster wie 1 : 72, beim Pfau wie 1 : 326 und bei der Wildgans sogar wie 1 : 567. Wenn wir den Waldkauz in diese Skale einordneten, dann würden wir etwa ein Verhältniss wie 1 : 90 erwarten dürfen, aber statt dessen finden wir ein solches wie 1 : 32, also nahezu dasselbe, wie es die Rauch- und auch Thurmschwalbe aufweist, bei der das Körpergewicht nur 20 oder resp. 40 Gr. beträgt.

Dieses letzte Beispiel zeigt übrigens zur Genüge, dass es nicht die Körpergrösse an sich ist, die bestimmend auf die Grösse der Augen einwirkt, sondern nur — wie das oben auch bemerkt wurde — insoweit, als dieselbe einen Maassstab für die Schnelligkeit der Ortsbewegung abgiebt. Wo das gewöhnliche Verhältniss zwischen der Körpergrösse und der Beweglichkeit sich verschiebt, da wird solches auch alsbald in einer entsprechenden Aenderung der sonst gewöhn-

lichen Augengrösse seinen Ausdruck finden. So haben die Faulthiere z. B. Augen, die kleiner sind, als die der Kaninchen (etwa 15 Mm. Durchmesser), während andererseits der Luchs durch seine Augengrösse (etwa 30 Mm. Durchmesser) mit den Ziegen und dem Schaafe wetteifert. Die Raubthiere sind überhaupt — nach Maassgabe ihrer Beweglichkeit — mit besonders grossen Augen ausgestattet, so dass der Adler z. B. Augen hat, die nur um etwa 10 Mm. Breite und 8 Mm. Tiefe hinter denen des Straussen zurückbleiben.

Bei der Eule fällt aber nicht bloss der Raubthiercharakter, sondern weiter auch der Umstand ins Gewicht, dass dieselbe ein Dämmerungsthier ist, also unter Verhältnissen sieht, die gleichfalls gewöhnlich (§ 5) eine ansehnliche Augengrösse voraussetzen. Auf wesentlich das gleiche Moment (geringe Lichtmenge) haben wir auch die Grösse der Fischaugen zurückzuführen, die besonders bei gewissen in der Tiefe lebenden Arten (z. B. Pomatomus telescopium) eine ganz ungewöhnliche ist. Die Augen des Kabliau besitzen einen Querschnitt, der nur wenig hinter dem des Pferdes zurücksteht (44 Mm. Breite), und die des Haifisches (Hexanchus griseus) übertreffen denselben sogar um ein Beträchtliches (Querdurchmesser 66 Mm.). Selbst unsere gemeinen Flussfische zeigen in der Grösse ihrer Augen ganz günstige Verhältnisse, wie z. B. die Nase, deren Augen bei einer Körpermasse von 200 Gr. etwa 2,3 Gr. wiegen (1 : 87), oder gar der Kaulbarsch, der auf 40 Gr. Körpergewicht 0,86 Gr. Augen hat, also 1 : 50. Eigentlich klein sind die Augen unter den Fischen nur bei den Welsen und Aalen, die bekanntlich im Schlamme wühlen. Unter ähnlichen Verhältnissen sehen wir auch bei gewissen Eidechsen und Säugethieren die Augen in ungewöhnlicher Weise sich verkleinern, bis sie schliesslich in den schon oben (§ 8) erwähnten Fällen einer fast völligen Verkümmerung entgegen gehen.

§ 20. Die Kugelform, die man im Grossen und Ganzen dem Augapfel der Wirbelthiere zu vindiciren pflegt, ist im mathematischen Sinne des Wortes viel-

Fig. 14.

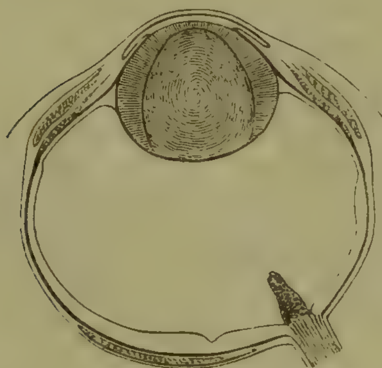
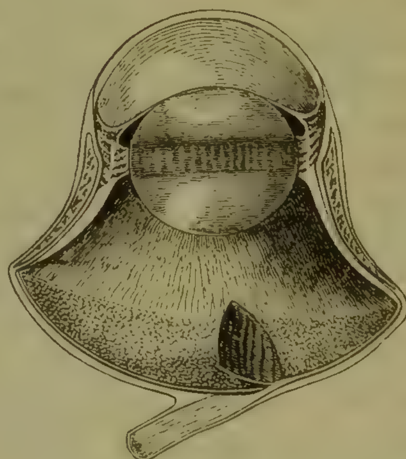


Fig. 15.



Augen des Chamäleon (Fig. 14 nach H. Müller) und des Uhu (Fig. 15 nach Sömmering) im Längsschnitt, zur Demonstration zunächst der verschiedenen Formem des Wirbelthierauges.

leicht nirgends bei denselben eingehalten. Am reinsten ist sie noch bei den kleineren Säugethieren und Amphibien ausgeprägt, doch findet man auch hier

gewöhnlich schon bei genauerer Untersuchung mehr oder weniger deutliche Abweichungen. In der Regel fallen diese übrigens schon beim ersten Blicke auf, und mitunter sind sie so stark, dass die Gestalt des Auges dadurch, wie namentlich bei den Eulen, sehr wesentlich modificirt wird.

Es sind vornehmlich zweierlei Momente, durch welche die Kugelform des Bulbus eine Abänderung erleidet. Das eine betrifft die Längenverhältnisse der Durchmesser, und das andere die Krümmung der einzelnen Segmente.

§ 21. In Bezug auf die Durchmesser der Augen liegen uns zahlreiche Messungen von Sömmering vor, auch einige weitere von Cuvier und Treviranus, aber sie betreffen ausschliesslich den Querdurchmesser und die Achse. Der verticale Durchmesser hat bisher kaum irgend welche nähere Berücksichtigung gefunden. Vermuthlich ist man der Ansicht gewesen, dass derselbe mit dem Horizontaldurchmesser nahezu übereinstimme, obwohl er sehr allgemein dahinter, wie das auch für den Menschen gilt, zurück bleibt. Bei den Fischen nimmt das Auge durch Verkürzung des Verticaldurchmessers gewöhnlich sogar eine entschieden ellipsoidische Form an.

Ein Uebergewicht des sagittalen Durchmessers (Achse) findet sich, von dem Menschen und den Affen abgesehen, die sich auch hierin an erstern anschliessen, — bei einem jungen Chimpanse messe ich nach den drei Dimensionen des Raumes 19,7 Mm., 19,4 und 19 — höchstens noch bei der Fledermaus. In allen diesen Fällen aber ist das Uebergewicht nur gering, so dass man die betreffenden Augen auf den ersten Blick um so leichter für kugelig halten könnte, als auch der verticale Durchmesser nur wenig von dem horizontalen abweicht. Bei den übrigen Säugethieren mit anscheinend kugeligen Augen ist der Längendurchmesser dem Querdurchmesser entweder gleich, wie z. B. bei der Ratte (6,75 Mm.), dem Waschbär (13 Mm.) und Luchse (31 Mm.), oder nur unbedeutend kleiner (beim Biber um 0,5 Mm., beim Wolf um 1 Mm., beim Murmelthier um 1,5 Mm.). Beim Seehund (Achse = 30 Mm.) beträgt dieser Unterschied bereits 2 Mm., beim Kaninchen (14 Mm.) 2,5, beim Rehe (20 Mm.) 5, eben so viel nach meinen Messungen beim jungen asiatischen Elephanten (33 Mm.), beim Rinde (36 Mm.) 7 und bei dem Walfische sogar 50 Mm. Mit Ausnahme vielleicht des Seehundes ist auch bei allen den letzterwähnten Thieren der sagittale Durchmesser kürzer als der verticale, beim Kaninchen um 1 Mm., beim Reh um 4, beim Elephanten um 2, beim Rinde um 5 und beim Walfisch um 35 Mm.

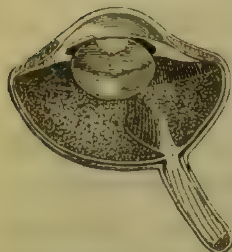
Aehnliche Verhältnisse finden wir bei den Vögeln. Auch hier sind es zunächst die Räuber, die durch günstige Entwicklung des sagittalen Durchmessers sich auszeichnen und an die analogen Formen der Säugethiere sich anschliessen, obwohl sie in anderer Weise, durch die Gestalt des Augapfels, von denselben auffallend abweichen. Bei dem Uhu (Fig. 15) hat der sagittale Durchmesser nahezu dieselbe Länge[1], wie der horizontale (39 u. 40 Mm.). Aber schon bei den Tagraubvögeln bleibt derselbe zurück. Bei dem Adler (Aquila haliaetos) beträgt er nur noch 30 Mm., während der horizontale 33 und auch der verticale 31 misst.

---

1) Bei H. Müller finde ich für den Uhu folgende Werthe angegeben: Querdurchmesser 41,5 Mm., Verticaldurchmesser 35, Augenachse 39. Ges. Schriften I. S. 145.

Aehnlich verhält sich der Bussard, bei dem die Durchmesser 19, 21 und resp. 19 Mm. betragen. Auch die Läufer haben noch verhältnissmässig recht tiefe Augen, der Strauss von 41 Mm. (horizontaler Durchmesser 45, verticaler 42), die Trappe von 29 Mm. (bei 33 und resp. 31 Mm. Breite und Höhe). Am auffallendsten sind die Unterschiede bei den Wasservögeln, unter denen z. B. das Auge der Ente nur 12 Mm. im sagittalen Durchmesser hat, während der horizontale 16 und der verticale 15 Mm. beträgt. Bei dem Nachtreiher messe ich auf 16 Mm. Tiefe 22 Mm. in Breite und 21 Mm. in Höhe. Für das Auge des Papageien (Psittacus acaranga) bestimmt Sömmering die sagittalen und verticalen Durchmesser auf 15 und 19 Mm.

Fig. 16.



Auge des Schwan. (Nach Sömmering.)

Aus der Klasse der Amphibien stehen mir nur wenige Messungen zu Gebote. Sie betreffen den Frosch mit Durchmessern von 8 Mm., 8,8 und 7,8, also einem Auge von ziemlich kugliger Form, und die Seeschildkröte, bei der die Durchmesser 25, 33 und 29,5 Mm. betragen, also Verhältnisse darbieten, wie etwa bei den Wasservögeln. Wenn wir diesen Bemerkungen noch die Angabe von Sömmering hinzufügen, nach der Coluber Aesculapii nahezu kuglige Augen von 6,5 Mm. Durchmesser besitzt — der sagittale Durchmesser soll hier sogar den verticalen um Einiges überragen —, die Augen eines jungen Krokodils aber 17 und 20 Mm., die der Warneidechse 10 und 12 Mm. messen, während das Chamäleon (nach H. Müller) kuglige Augen von circa 8 Mm. besitzt, an denen der äquatoriale Durchmesser die Achse um ein Geringes überwiegt (Fig. 14), dann wird es ersichtlich, dass die Verhältnisse der Augendurchmesser hier wesentlich dieselben sind, wie bei den Säugethieren.

Anders aber verhalten sich die Fische, bei denen nicht bloss, wie das schon oben bemerkt wurde, der Querdurchmesser der Augen den Verticaldurchmesser sehr allgemein um ein Bedeutendes (beim Hecht um $^1/_7$, beim Haifisch um $^1/_8$, beim Kabliau um $^1/_{10}$ seiner eigenen Länge) übertrifft, sondern gleichzeitig auch der Sagitttaldurchmesser so beträchtlich zurückbleibt, dass die Kugelform einer mehr ellipsoidischen Platz macht. Dabei muss jedoch ausdrücklich bemerkt werden, dass die Länge der Augendurchmesser, und namentlich die des sagittalen, wegen der ansehnlichen Dicke, welche die hintere Wand des Augapfels bei den Fischen gewöhnlich (wie auch gelegentlich schon bei anderen Wasserthieren, den Walfischen und Seeschildkröten) besitzt, ein nur sehr unvollkommenes Bild von dem Innenraume des Auges giebt, und namentlich den Abstand von Linse und Retina, der für die Beurtheilung des optischen Werthes der Augengrösse doch besonders wichtig ist, durchweg zu gross erscheinen lässt.

Fig. 17 a.

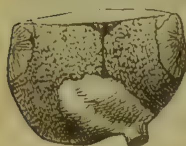
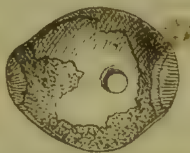


Fig. 17 b.



Rechtes Auge des Hechtes in natürlicher Grösse, Fig. 17 a von Unten, Fig. 17 b von Hinten gesehen.

Genauere Messungen sind übrigens nur am Hecht, dem Kabliau und Haifisch (Hexanchus griseus) von mir angestellt worden. Die dabei gefundenen Werthe beziffern sich auf 10, 14 und 12 Mm. für den Hecht, 26, 44 und 40 Mm. für den Kabliau und 40, 66 und 58 Mm. für den Haifisch. Nachträglich füge ich

noch den Stachelrochen bei, dessen Auge bei einem Sagittaldurchmesser von 16 Mm. eine Breite von 22 und eine Tiefe von nur 12 Mm. — mit Einrechnung des für den Stützknorpel bestimmten Gelenkhöckers 14 Mm. — beträgt. Dabei ist die vordere Hälfte des Bulbus oben zu einer halbmondförmigen Fläche von fast 10 Mm. Höhe abgeplattet und auch unten etwas gedrückt, so dass die Cornea eine nierenförmige Gestalt (Breite 16, Höhe 6 Mm.) gewinnt und trotz der Rückenlage der Augen nach der Seite gerichtet wird.

Fig. 18.



Auge des Stachelrochen von der Seite gesehen.

§ 22. Wie am Bulbus des Menschen, so lassen sich auch bei den übrigen Wirbelthieren am Augapfel drei durch Form und Krümmung von einander verschiedene Abschnitte unterscheiden, ein hinterer, der sog. Augengrund, der den grössten Theil der undurchsichtigen Augenhaut (*Sklera*) repräsentirt, ein vorderer, der von der durchsichtigen Hornhaut (*Cornea*) gebildet wird, und ein Verbindungstheil, der sog. *Sulcus corneae*, der histologisch übrigens der Sklera zugehört, deren vordern eingeschnürten Rand er darstellt. Die Hornhaut ist gewissermaasen das Fenster des Auges, durch das die Lichtstrahlen hineinfallen, um auf der Innenfläche des Augengrundes, die der Cornea gegenüber liegt und von der Netzhaut überzogen wird, das Sehbild zu entwerfen. Hornhaut sowohl, wie Augengrund erscheinen bei äusserlicher Betrachtung als Kugelsegmente oder ellipsoidisch gekrümmte Flächen, während der Verbindungstheil, der zwischen dieselben sich einschiebt, einen ring- oder trichterförmigen Gürtel bildet, der die Bestimmung hat, das vordere und hintere Segment des Auges in bestimmter Entfernung aus einander zu halten und gewissen Apparaten im Innern zur Anheftung zu dienen.

Vermöge der eben hervorgehobenen Bildung sind es vornehmlich Cornea und Augengrund, die dem Bulbus seine sphärische Gestalt geben. Dieselbe ist um so vollständiger ausgeprägt, je mehr der Verbindungstheil zurücktritt und der Unterschied der Krümmungsradien verschwindet. Ganz gleich dürften die letzteren übrigens kaum jemals werden. Vielmehr herrscht in dieser Hinsicht das Gesetz, dass der Krümmungsradius der Cornea entweder kürzer ist, als der des Augengrundes, die Cornea also eine stärkere Krümmung zeigt, oder umgekehrt. Das erstere gilt für die Landthiere, besonders die Säugethiere und Vögel, das andere aber für die Wasserthiere, besonders also die Fische. So betragen die betreffenden Krümmungsradien z. B. bei dem Luchse (Fig. 20) 14 und 15 Mm., dem Pferde (Fig. 19) 16 und 22, bei dem Uhu (Fig. 15) 12 und 24, dem Strausse 11 und 22, bei dem Krokodil 9 und 12, der Seeschildkröte 9 und 10, beim Rochen dagegen 17 und 6, beim Kabliau 29 und 16, beim Hecht (Fig. 17) 14 u. 9. (Bei der Bestimmung dieser Radien sind zumeist die Abbildungen von Sömmering zu Grunde gelegt, wie das auch — für die Krümmungsradien der Cornea — in den von Cuvier zusammengestellten Tabellen geschehen ist. Directe Messungen, die bis jetzt freilich — von Sömmering's und Treviranus' Angaben über den Krümmungsradius der Cornea abgesehen — kaum vorliegen, dürften hier und da vielleicht kleine Abweichungen ergeben.)

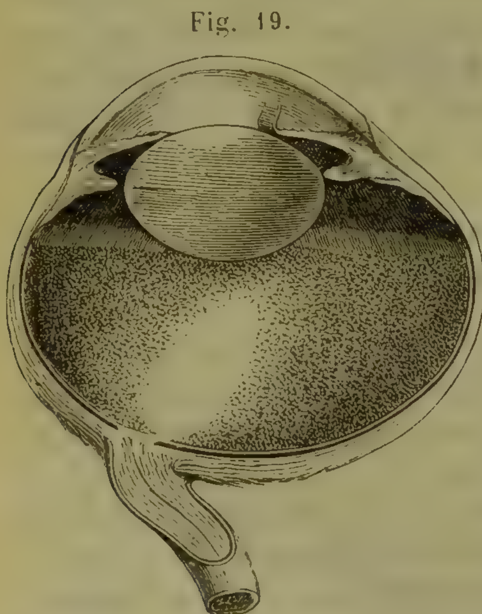
Die Unterschiede, die sich in diesem Verhalten aussprechen, werden uns begreiflich, wenn wir berücksichtigen, dass der Brechungsexponent der Cornea

(1,346) von dem des Wassers (1,336) sich nur wenig unterscheidet, die Cornea der Wasserthiere also auch bei stärkerer Krümmung keinen irgend wie erheblichen Einfluss auf die Brechung der Lichtstrahlen ausüben würde (§ 4 C). Anders aber bei den Luftthieren, bei denen das Licht durch die Hornhaut weit stärker, als durch irgend ein anderes Medium des Auges, die Linse nicht ausgenommen, abgelenkt wird, weil die Differenz in den Brechungsexponenten von Luft (1) und Hornhaut beträchtlicher ist, als solche zwischen den verschiedenen brechenden Mitteln des Auges selbst (Linse 1,5) irgend wo gefunden wird. Dabei versteht es sich übrigens von selbst, dass der jedesmalige Antheil, den die Cornea der Landthiere an der Entwerfung des Sehbildes nimmt, nach der mehr oder minder starken Krümmung bei den einzelnen Arten selbst wieder manche Verschiedenheiten darbietet. Besonders gross ist dieser Antheil bei den Raubthieren, deren Cornea sich (wenigstens bei den Warmblütern) durchweg durch eine besonders starke Krümmung auszeichnet.

Die hier hervorgehobenen Unterschiede influiren natürlicher Weise auch auf die Länge der Augenachsen. Sie tragen nicht wenig dazu bei, dem Auge besonders der Raubthiere, so wie der Fische (und Wasserthiere überhaupt) die demselben eigne sphärische oder platte Form zu geben. Doch die Krümmungsverhältnisse der Cornea sind es nicht allein, die hier ins Gewicht fallen. Von ganz besonderem Einflusse ist dabei auch die Gestaltung des mittleren sog. Verbindungstheiles. Wie schon oben erwähnt, stellt dieser den vorderen Rand der gürtelförmigen Sklera dar, der im Innern nicht mehr von der Netzhaut bekleidet ist, dafür aber gewissen anderen Gebilden, dem Strahlenkörper und Ciliarmuskel, zum Ansatz dient.

Bei den Säugethieren ist dieser Verbindungstheil im Ganzen nur wenig auffallend. Obwohl er eine nicht selten recht beträchtliche Entwicklung hat (besonders bei den Raubthieren, bei denen — vgl. Fig. 20 — seine Höhe den vierten und selbst dritten Theil des gesammten Tiefendurchmessers in Anspruch nimmt), erscheint er in der Regel doch nur als das dem Aequator des Auges zunächst vorausgehende Kugel-Segment, das den Uebergang in die Hornhaut vermittelt, und von dem entsprechenden Abschnitte der hinteren Hemisphäre nur durch eine etwas stärkere Abflachung sich unterscheidet. Im Umkreise des Cornealrandes wird die Abflachung bisweilen sogar, wie bei dem Menschen, zu einer seichten Grube, aus der dann die convexe Hornhaut sich erhebt, und diese Bildung eben ist es, die zu der Bezeichnung *Sulcus corneae* Veranlassung gegeben hat. Es sind namentlich die grösseren Pflanzenfresser, die, ausser Mensch und Affen, eine derartige Einschnürung erkennen lassen. Am flachsten ist der Verbindungstheil bei den Walfischen (Fig. 6), bei denen derselbe kaum mehr als einen ringförmigen, 20 Mm. breiten Rahmen um die Hornhaut

Fig. 19.



Auge des Pferdes im Längsschnitt. (Nach Sömmering.)

darstellt. Aber auch in diesem Falle ist der Uebergang in den Augengrund ganz allmählich, wenn auch immerhin merklicher, als an den mehr kugligen Augen der übrigen Säugethiere, deren Verbindungstheil im Gegensatze zu dem Verhalten der Walfische einen trichterförmigen mehr oder minder steilen Aufsatz auf dem Augengrunde darstellt. Die Breite dieses Aufsatzes beträgt beim Pferde nicht weniger als 15 Mm. (Höhe = 12 bei 43 Mm. Achse, von der weitere 24 Mm. auf den Augengrund kommen). Eben so viel beim Luchse, obwohl das Auge desselben nur 31 Mm. tief ist (Höhe des Verbindungstheiles = 12 Mm., etwas mehr als die Höhe des Augengrundes). Der Wolf hat einen Verbindungstheil von 7 Mm. Breite und 6 Mm. Höhe (Augenachse = 23 Mm.), das Schaaf einen solchen von 10 und resp. 9 Mm. (Augenachse = 30), das Känguruh von 5 und resp. 4 (Augenachse = 25), das Murmelthier von 3,6 und resp. 3 (Augenachse = 14).

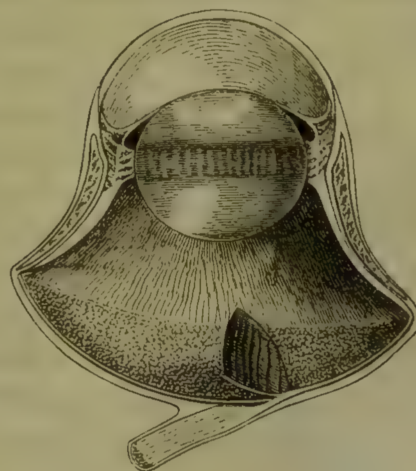
Wenn wir die Grenze des Augengrundes und Verbindungstheiles oben in den Aequator des Augapfels verlegt haben, so geschah das übrigens zunächst nur zum Zwecke einer allgemeineren Orientirung, denn in Wirklichkeit greift ersterer bei zahlreichen, besonders pflanzenfressenden Säugethieren, wie bei dem Menschen und Affen, um Einiges darüber hinaus, so dass er geräumiger wird, als die übrigen Theile des Auges zusammen genommen. Unter den Raubthieren giebt es dafür freilich auch Arten, bei denen das entschiedene Gegentheil statt hat. Ich nenne hier namentlich den Luchs, dessen Augengrund eine so flache Krümmung zeigt, dass der Mittelpunct derselben bis ungefähr in die Mitte des Verbindungstheiles emporrückt.

Fig. 20.



Auge des Luchses im Längsschnitt (nach Sömmering.)

Fig. 21.



Auge des Uhu (links die Nasenseite.) Nach Sömmering.

Die Trichterform, die wir schon für die Säugethiere dem Verbindungstheile vindicirt haben, ist bei den Vögeln in einer so charakteristischen Weise ausgeprägt, dass sie dem Beobachter schon bei oberflächlichster Betrachtung auffällt. Und das besonders dann, wenn es das Auge eines Raubvogels, und namentlich (Fig. 21) einer Eule ist, dem er seine Aufmerksamkeit zuwendet. Erscheint bei letzterer doch der Verbindungstheil geradezu als die Hauptmasse des Auges, eine nach Aussen zu conisch verjüngte Röhre, die, dem Rohr eines Operngucker nicht unähnlich, vorn durch die Cornea, hinten durch den flachen Augengrund ihren Ab-

schluss findet. Von der 39 Mm. langen Augenachse kommen beim Uhu (Fig. 21) nicht weniger als 17,5 Mm. auf den Verbindungstheil, während der Augengrund davon nur 11 und die Cornea durch ihre starke Krümmung 10,5 Mm. in Anspruch nimmt. Die hintere Oeffnung des Trichters hat 41, die vordere 25 Mm. im grössten Durchmesser. Dazu kommt, dass der Rand des Augengrundes in einem fast spitzen Winkel gegen die Basis des Verbindungstheiles absetzt und letzterer, statt der bei den Säugethieren immer noch gewöhnlichen Convexität, eine in ganzer Länge hinziehende rinnenförmige Ausbiegung zeigt, die an der Nasenseite sogar zu einer förmlichen Knickung wird. Wollte man einem solchen Auge die sphäroidale Form eines Säugethierauges geben, ohne es in der für das Sehen so wichtigen Längsdimension zu verkleinern, so würde das nur geschehen können, indem man den trichterförmigen Verbindungstheil stark aufblähete oder einen dicken ringförmigen Wulst um denselben herumlegte. Durch eine solche Umbildung würde für das Sehen freilich nicht das Geringste gewonnen, wohl aber das Gewicht des Bulbus um ein Ansehnliches erhöht werden. Die auffallende Gestalt des Auges wird uns mit dieser Betrachtung verständlich. Wir erkennen jetzt darin, die Längenachse desselben als gegeben und nothwendig für die betreffende Lebensform vorausgesetzt, ein Mittel zur Verringerung der Masse und des Gewichtes, eine Aeusserung also desselben Principes, das wir für den Vogelkopf sonst als charakteristisch kennen, an dem Auge aber auf den ersten Blick (§ 18) vermissten.

Was für die Eulen hier bemerkt worden, gilt natürlich auch für die übrigen Vögel, obgleich der Verbindungstheil nirgends weiter eine so gewaltige Entwicklung hat, und damit denn auch der Vortheil der betreffenden Bildung nicht mehr so schwer ins Gewicht fällt. Schon bei dem Adler verkürzt sich die Höhe des Verbindungstheiles auf 9 Mm., also auf kaum den dritten Theil des sagittalen Durchmessers und beim Strauss (Fig. 22) beträgt sie (trotz der absoluten Höhe von gleichfalls 9 Mm.) nur noch zwei Neuntheile desselben. Noch geringer erscheint sie beim Schwan (Fig. 16), bei dem von den 16 Mm. der Augenachse nur 3,3 Mm. auf den Verbindungstheil kommen. Gleichzeitig verkleinern sich die unteren und oberen Querdurchmesser beim Adler auf 33 und 17, beim Strauss auf 42 und 22, beim Schwan auf 22 und 10 Mm. Der Verbindungstheil wird also mit anderen Worten bei den Läufern und Wasservögeln, die auch den relativ kleinsten Sagittaldurchmesser besitzen, immer kürzer und flacher, ohne dass dabei jedoch die rinnenförmige Buchtung völlig verloren ginge. Auch die scharfe Begrenzung gegen den Augengrund bleibt beständig; sie wird im Ganzen sogar (Fig. 16) um so auffallender, je mehr der Verbindungstheil sich abflacht und dabei der Winkel, unter dem derselbe in den Augengrund übergeht, sich verkleinert. Bei der Mehrzahl der Vögel repräsentirt der Augengrund übrigens weniger als eine Hemi-

Fig. 22.



Auge des Straussen im Längsschnitt (nach Sömmering.)

sphäre, so dass der Mittelpunct des Krümmungsradius nach Vorn in den Verbindungstheil emporrückt, bei dem Uhu bis nahezu in die Mitte der Linse.

Die Amphibien nehmen durch die Bildung ihres Verbindungsstückes eine Mittelstellung zwischen den Vögeln und Säugethieren ein. Ein kurzer, hier und da, besonders bei den Seeschildkröten, stark abgeflachter Trichter, geht derselbe mit abgerundeten Kanten (Fig. 14) in den Augengrund über, so dass die Grenzen beider Abschnitte nur wenig scharf hervortreten und bei bloss äusserlicher Betrachtung schwer nachzuweisen sind.

Der Verbindungstheil der Fischaugen ist meist noch weniger auffallend und vielfach, besonders bei Knochenfischen, so reducirt, dass er kaum noch als besonderer Abschnitt nachweisbar ist. In solchen Fällen wird die ganze vordere Augenfläche von der Cornea gebildet, die dann einen sehr ansehnlichen Querschnitt hat und mit dem Vorderrande des Augengrundes fast rechtwinklig zusammenstösst (Fig. 17). Der letztere hat eine ungewöhnliche Kürze, so dass der Mittelpunct desselben in die vordere Hälfte der Linse fällt, obwohl diese nur in unbedeutendem Abstande hinter der Hornhaut liegt. Bei den Haifischen und Verwandten findet sich im Umkreis der Cornea zunächst noch eine ziemlich breite rahmenartige Einfassung, die fast den vierten Theil des Querdurchmessers misst und nach der Beschaffenheit der inneren Augenhäute als Verbindungstheil zu betrachten ist. Der sonderbare Argyropelecus besitzt sogar ein trichterförmiges Verbindungsstück von ansehnlicher Höhe, freilich nicht in ganzer Peripherie des Augengrundes, sondern bloss an der Facialfläche, so dass die Cornea dadurch nach dem Scheitel zu gehoben wird und die Augenachsen eine fast parallele Stellung annehmen.

Fig. 23.



Auge von Argyropelecus von der Temporalseite gesehen (5 Mal vergrössert.)

§ 23. Die Kugelform des Auges wird übrigens nicht bloss durch die ungleiche Bildung der in der Längsrichtung auf einander folgenden einzelnen Abschnitte modificirt, sie erleidet weiter auch noch dadurch mancherlei Abänderung, dass das rechte und linke (nasale und temporale), ja selbst das obere und untere (frontale und faciale) Segment seine symmetrische Entwicklung verliert und je nach Umständen mehr oder minder selbstständig sich gestaltet. Allerdings sind diese Abweichungen von der Normalform keineswegs so allgemein verbreitet, wie die bisher geschilderten, gewöhnlich auch weit weniger auffallend, allein trotzdem giebt es Fälle, in denen sie sehr merklich werden. Um ein Beispiel der Art kennen zu lernen, braucht man nur den Bulbus einer Eule oder eines Bussard näher zu betrachten.

Der vorspringende Rand des Augengrundes bildet bei letzterem, den wir unserer Beschreibung zu Grunde legen, in der Aequatorialprojection keinen Kreis, sondern (Fig. 24) eine mehr rautenförmige Figur, deren abgerundete Ecken so ziemlich mit den Enden des horizontalen und verticalen Durchmessers zusammenfallen. Aber nicht nur, dass, wie oben schon erwähnt, der horizontale Durchmesser länger ist, als der verticale (21 : 19), es zeigen auch die Enden desselben, wenigstens das nasale Ende, einen stärkeren und weniger gerundeten Vorsprung. Da gleichzeitig das faciale Ende des Verticaldurchmessers stärker hervorragt als das frontale, hat die äquatoriale Begrenzung des Augengrundes eigentlich nur

an ihrem oberen Rande und auch hier nur in der äusseren Hälfte annäherungsweise die Form eines Kreisbogens.



Linkes Auge des Bussard in natürlicher Grösse Fig. 24 von Vorn, Fig. 25 von Unten, Fig. 26 von der Nasenseite aus gesehen.

Die hier bezeichneten Ecken prominiren aber nicht bloss nach Aussen, sondern erheben sich gleichzeitig auch nach Vorn über die Randfläche des Augengrundes, so dass der trichterförmige Verbindungstheil zur Aufnahme derselben je einen Ausschnitt zeigt, dessen Grösse sich natürlich nach der Höhe des Vorsprungs richtet. Und diese Höhe ist um so bedeutender, je mehr die Ecken nach Aussen prominiren. Am grössten ist also der Ausschnitt an der nasalen Ecke (Fig. 26), am kleinsten dagegen, fast verschwindend, an der frontalen. Da nun aber mit der Grösse dieses Ausschnittes weiter auch die rinnenförmige Ausbuchtung des Verbindungstheiles zunimmt und zwar der Art, dass derselbe am nasalen Rande (Fig. 25) fast wie geknickt erscheint, während sein frontales Segment in flacher Krümmung emporsteigt, so nimmt der ganze trichterförmige Vordertheil des Auges in Folge dessen eine nach Innen und Unten zu geneigte Richtung an. Diese Ablenkung wird noch dadurch vergrössert, dass der vordere Rand des Verbindungstheiles, der die Cornea aufnimmt, in derselben Richtung schief sich abstutzt, wie solches am deutlichsten aus der Thatsache sich ergiebt, dass die gerade Entfernung des Cornealrandes von dem unteren Rande des Verbindungstheiles am nasalen Segmente 6 Mm., am frontalen 9, an den beiden übrigen aber 8 und 8,3 beträgt. (Bei der Schneeeule betragen diese Längen in entsprechender Weise 17, 24 und 22 Mm.) Die Achse des Augengrundes und der davor gelegenen Segmente kreuzen sich hiernach also der Art, dass ein durch erstere hindurch gelegter sagittaler oder horizontaler Schnitt das Auge jedes Mal in zwei ungleiche Hälften theilt. Dass diese asymmetrische Bildung sich auch in der Lage der Cornea bei der Aequatorialprojection des Bulbus ausspricht (Fig. 24), versteht sich von selbst, wie sich denn weiter auch daraus auf eine entsprechend asymmetrische Anordnung derjenigen Augentheile zurückschliessen lässt, die der Innenfläche des Verbindungstheiles aufliegen.

Der hervorstechendste Zug der hier geschilderten Bildung besteht in der Verkürzung des nasalen Segmentes, und diese bringt es mit sich, dass das gegenüber liegende temporale Segment des Auges um ein Entsprechendes sich ausweitet. Die Augen werden dadurch begreiflicher Weise für die Aufnahme der von Vorn einfallenden Strahlen geschickter, und so dürfen wir denn diese Bildung besonders bei solchen Thieren erwarten, bei denen die Divergenz der

Augenachse nicht so weit geht, dass das binoculäre Sehen dadurch unmöglich wird. In der That hat es den Anschein, als wenn die meisten Vögel und Säugethiere ein derartiges Verhalten darbieten, obwohl es in der grösseren Mehrzahl der Fälle weniger auffällt und sich deshalb denn auch, besonders bei gleichzeitiger Verkleinerung des Bulbus, nur durch genaue Messung constatiren lässt. Für den Menschen ist die geringere Grössenentwicklung der Nasenhälfte des Bulbus erst von Brücke nachgewiesen, während sie für den Luchs (Fig. 20) und Wolf und Elephanten und namentlich auch das Pferd (Fig. 19) schon aus den Abbildungen von Sömmering hervorgeht. Nach H. Müller zeigt der Verbindungstheil auch beim Chamäleon (Fig. 14) an der Nasenseite eine merklich schmälere Zone.

Die Unterschiede in der Entwicklung des frontalen und facialen Augensegmentes sind nur selten so gross, dass sie bei flüchtiger Untersuchung auffallen. Argyropelecus (Fig. 23) und Raja machen in dieser Hinsicht freilich eine Ausnahme, wie das schon früher (S. 189 und 185) hervorgehoben ist. Auch bei den übrigen Fischen ist das frontale Segment sehr allgemein etwas flacher, das gegenüber liegende faciale also bauchiger (Fig. 17 *b*), so dass es den Anschein gewinnt, als wenn dieselben mehr für die Perception der von oben einfallenden Lichtstrahlen geschickt seien. Bei den Vögeln und Säugethieren scheint eher das Gegentheil obzuwalten. Ich finde wenigstens, wie bei den grösseren Raubvögeln, so auch beim Strausse und Rinde und Kaninchen, dass das nach Oben und Aussen gekehrte Segment des Bulbus am geräumigsten ist.

§ 24. Wie die Form und Grösse des Bulbus, so zeigt auch die Eintrittsstelle des Sehnerven bei den einzelnen Arten mancherlei Abweichungen, die bis jetzt freilich erst geringe Berücksichtigung gefunden haben. Und doch ist dieselbe nicht bloss anatomisch, sondern auch physiologisch von Interesse, da sie bekannter Maassen den sog. blinden Fleck bedingt. Ob man diesem Umstande die Vermuthung entlehnen kann, dass der Eintritt des Sehnerven immer nur an einer Stelle erfolgt, die ausserhalb des Bereiches des schärfsten Sehens liegt, muss so lange unentschieden bleiben, als unsere Kenntnisse über die optischen Achsen der Thieraugen nur unvollkommen und spärlich sind. Nur so viel ist sicher, dass die Eintrittsstelle des Sehnerven niemals mit dieser Achse selbst zusammenfällt, dass letztere also da, wo ein centraler Eintritt des Sehnerven stattfindet, mehr oder minder seitlich von demselben gelegen sein muss.

Im Ganzen ist übrigens ein solcher centraler Eintritt des Sehnerven nur selten. Am häufigsten scheint er noch bei den Fischen vorzukommen, obwohl es auch unter diesen zahlreiche Arten giebt, bei denen die Eintrittsstellen nach der Nasenseite (Raja clavata, Squalus acanthias) oder in entgegengesetzter Richtung (Esox, Fig. 17) abweichen. Auch unter den Säugethieren giebt es Beispiele eines nahezu centralen Eintritts, wie Bär, Dachs, Biber, Luchs (Fig. 20), Narval. In der Regel aber rückt die Insertionsstelle aus der Mitte des Augengrundes in das untere Segment und zwar entweder nach Innen, der Nasenseite zu, oder, wie bei der grösseren Mehrzahl und namentlich allen Vögeln (Fig. 16, 21, 22) und Amphibien, nach Aussen. Das Murmelthier ist, so weit bekannt, das einzige Wirbelthier, bei dem der Eintritt des Sehnerven nach Oben (und Aussen) zu gelegen ist.

Das Verhalten also, das der Mensch in Betreff der Verbindung zwischen Bulbus und Opticus zeigt, ist im Ganzen nur selten. Wir finden es in wesentlich derselben Weise bei den Affen, ähnlich auch dem Waschbär, Stachelschwein, Elephant und Walfisch (Fig. 6). Das Pferd zeigt gleichfalls eine medianwärts nach Unten gelegne Eintrittsstelle, aber die Entfernung derselben von dem hinteren Ende der Augenachse ist ungleich bedeutender, als bei irgend einem der vorher genannten Thiere (Fig. 19).

Wo die Insertion nach Aussen von dem Centrum des Augengrundes stattfindet, zeigt sich gleichfalls ein bald geringerer, bald auch grösserer Abstand. Beim Wolf und Seehund nur gering, wächst derselbe z. B. beim Känguruh, bis er bei den Antilopen und Schaafen, namentlich aber den Vögeln und Amphibien ein relativ sehr beträchtlicher wird (Fig. 16, 22).

Die Verlegung dieser Eintrittsstelle nach Aussen bedingt es natürlich, dass der Sehnerv da, wo er eine nur geringe Länge und einen straffen Verlauf hat, also namentlich bei den Raubvögeln, unter einem spitzen Winkel an den Augengrund hinantritt. Damit steht es denn auch im Zusammenhang, dass derselbe hier nicht, wie sonst, durch ein rundes Loch (oder, bei den Säugethieren, durch eine siebförmig durchlöcherte runde Platte) in den Innenraum des Auges eindringt, sondern durch eine mehr ovale, ja bisweilen sogar nur spaltförmige Oeffnung. So namentlich bei dem Adler, bei dem diese Spalte 11 Mm. lang und kaum 2 Mm. breit ist. Unter den übrigen Thieren kennt man eine ähnliche Bildung nur bei dem Murmelthiere, wo sie durch die ungewöhnliche Abplattung (S. 168) und Stärke des Sehnerven zur Genüge motivirt ist.

2. Sklera und Cornea.

His, Beiträge zur Histologie der Cornea. Basel 1856.

Lightbody, on the anatomy of cornea of vertebrates. Journal of Anatomy and Physiology. Vol. I. 1867. p. 16. (Lag mir nicht vor.)

Leydig, Der hintere Scleroticalring im Auge der Vögel. Müller's Archiv. 1854. S. 40.

H. Müller, über Knochenbildungen in der Sklera der Thieraugen. Verhandl. des Würzburger Vereins. Bd. IX. S. LXV. Ges. Schriften a. a. O. S. 214.

Th. Langhans, Untersuchungen über die Sclerotica der Fische. Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie. Bd. XV. S. 243—306. Tab. XXII u. XXIII.

§ 25. Die Aussenwand des Bulbus besteht bei allen Wirbelthieren aus einer bindegewebigen Membran, deren Dicke und Festigkeit im Allgemeinen mit der Grösse des Auges gleichen Schritt hält. Bis auf das vordere Segment, die Cornea, die gewissermassen das Fenster des Auges darstellt, hat dieselbe gewöhnlich eine undurchsichtige Beschaffenheit und eine weisse Farbe, die allerdings nicht selten durch eingelagerte Pigmentzellen und die aus der Tiefe durchscheinende dunkle Gefässhaut getrübt ist. Im Umkreis der Cornea häuft sich das Pigment gelegentlich in solchem Grade, dass sich der Rand derselben in Form eines mehr oder minder breiten schwärzlichen Ringes abhebt. Freilich gehört dieses Pigment nicht ausschliesslich der Augenwand, sondern theilweise auch der darüber hinziehenden sog. Conjunctiva, die nichts Anderes als ein verdünntes und durchsichtiges Segment der gemeinen Körperhaut ist.

Diese feste äussere Augenhaut (*Sklera*) bildet gewissermaassen das Skelet des Bulbus. Sie umhüllt und schützt die innern Organe, giebt den Augenmuskeln feste Ansatzpuncte und verleiht dem ganzen Gebilde seine charakteristische Gestalt. Wo Festigkeit und Stützkraft derselben in ganzer Ausdehnung die gleiche ist, wo also Gegendruck und Druck an allen Puncten der Augenoberfläche im Gleichgewicht stehen, da ist diese Gestalt natürlich eine sphärische. Die Abweichungen von der Kugelform — und es giebt deren, wie wir wissen, sehr viele und sehr mannichfaltige — entstehen immer durch eine locale Störung des Gleichgewichtes. Sie sind nur da möglich, wo Dicke und Festigkeit und Structur der äusseren Augenhaut nicht allerorten übereinstimmen. Je auffallender die Modificationen der Kugelform sind, desto grösser werden auch diese Unterschiede sein müssen.

Wenn wir von diesem Gesichtspuncte aus die Bildung der äusseren Augenhaut in den einzelnen Wirbelthiergruppen beurtheilen, dann werden wir es von vorn herein wahrscheinlich finden, dass dieselbe bei den Vögeln, Amphibien und Fischen in physikalischer und histologischer Hinsicht eine grössere Mannichfaltigkeit darbietet, als bei den Säugethieren. Und so ist es auch. Während die äussere Augenhaut der letzteren ausschliesslich aus einer elastischen Bindesubstanz sich aufbaut — nur das Schnabelthier und die nahe verwandte Echidna verhalten sich darin anders —, finden wir in den übrigen Gruppen der Wirbelthiere daneben je nach Umständen auch Knorpel und Knochen und gewöhnlich sogar beides verwendet, Substanzen, die, wenngleich histologisch der sog. Bindegewebsgruppe zugehörig, doch eine ungleich grössere Resistenzkraft besitzen und sich deshalb denn auch in einem höheren Grade dazu eignen, gewisse mechanische Leistungen zu üben und Formen zu ermöglichen, die unter andern Verhältnissen unzulässig sein würden.

Unter den Amphibien und Fischen giebt es allerdings einige Arten, deren äussere Augenhaut eine gleichfalls nur einfache bindegewebige Textur hat, aber abgesehen davon, dass die Zahl derselben eine sehr geringe ist (unter den Amphibien gehören dahin die Ringelnatter und der Salamander [1]), unter den Fischen das Neunauge [2]), einige Aale und Welse), sind es immer nur Thiere mit kleinen und kugligen Augen, Geschöpfe also, bei denen die Voraussetzungen einer complicirteren Bildung nicht zutreffen.

---

1) Bei Triton, den Leydig gleichfalls den Arten mit einfach bindegewebiger Sklera zurechnet, sehe ich an gut gelungenen Schnitten einen schmalen Knorpelring, der in die Aequatorialzone des Bulbus eingelagert ist und aus einer einzigen Lage dicht gedrängter kernhaltiger Zellen besteht.

2) Petromyzon Planeri soll nach Langerhans einer eigentlichen Sklera entbehren und dafür nur einige unbedeutende Bindegewebshäutchen besitzen, die sich an die Muskeln anschliessen (Untersuchungen über Petromyzon Planeri 1873 S. 58). Für Petromyzon fluviatilis hat diese Angabe keine Geltung, denn dieser hat (Fig. 36) eine derbe, wenngleich vorn nur wenig dicke Sklera, die man deutlich in die Cornea sich fortsetzen sieht. Sie zeigt eine fibrilläre Textur und ist auf der Aussenfläche mit einer continuirlichen Schicht verästelter Pigmentzellen besetzt. Nach Innen trägt sie die von weiten Blutgefässen durchzogene Choroidea.

§ 26. Schon die älteren Anatomen waren der Ansicht, dass die äussere Augenhaut in einer ähnlichen Beziehung zu der Duralscheide des Opticus stehe, wie die Retina zu der Markmasse derselben, dass sie mit andern Worten eine directe Fortsetzung dieser Scheide darstelle. Ebenso sollte die Choroidea aus dem Neurilemm des Sehnerven, in letzter Instanz also aus der weichen Hirnhaut abstammen. Auf diese Weise statuirte man für das Auge der Wirbelthiere eine Homologie mit den Nervencentren, aus denen es mit seiner ersten Anlage (primitiven Augenblase) ja bekanntlich auch ganz nach Art eines Anhangsgebildes hervorgeht.

Genauere Untersuchungen über die Beziehungen der Opticusscheiden zu den Augenhäuten sind übrigens erst in neuerer Zeit (von Jäger, Schwalbe, Michel u. A.) angestellt worden. Sie betreffen sämmtlich den Menschen und haben zu der Annahme geführt, dass die Fasern der Duralscheide in die äussern Bindegewebslagen der Sklera übergehen, die der innern Scheide aber mit den tiefern Schichten derselben in Verbindung treten.

Am evidentesten ist der directe Zusammenhang der äussern Hüllen von Bulbus und Opticus bei den Thieren mit stark verdickter Duralscheide, dem Elephanten, Delphin und Walfisch, denselben Thieren, die zugleich auch (wohl in Zusammenhang damit) eine ungewöhnlich dicke Sklera besitzen. Nicht bloss, dass das vordere Ende der Opticusscheide (Fig. 6) hier ohne Grenze in den Augengrund übergeht, so dass man dasselbe leicht für einen integrirenden Theil des Bulbus ansehen könnte, es gelingt auch mit Loupe und unbewaffnetem Auge die einzelnen Faserzüge, die beim Walfisch mehrere Millimeter dick sind, aus der Scheide direct in die Bindesubstanz der Sklera hinein zu verfolgen. Gleiches weist die mikroscopische Untersuchung beim Haifisch, Hecht, der Seeschildkröte u. a. nach. Bei letzterer sehe ich z. B. auf geeigneten Schnitten, wie die Längsfaserbündel des Duralüberzuges an der Verbindungsstelle mit dem Bulbus aus der frühern Richtung abbiegen und zu der äussern Bekleidung der sonst knorplichen Sklera werden. An der Nasenseite, wo der Nerv unter spitzem Winkel an den Augapfel tritt, löst sich die Scheide vorher in mehrere über einander liegende blattartige Schichten auf, wie Aehnliches auch beim Menschen beobachtet ist. Der innere Ueberzug des Skleralknorpels bekommt Fasern aus dem Neurilemm, dessen Bindesubstanz aber auch in die Choroidea hinein sich fortsetzt. Ebenso überzeugt man sich an Querschnitten durch den hintern Augengrund des Delphins, dass die zwischen den oben erwähnten wundernetzartigen Gefässen hinziehenden Radiärbündel einerseits in das hier ziemlich stark verdickte Neurilemm, andererseits aber eben so entschieden auch in die Sklerabündel übergehen.

Die oben erwähnten Histologen beschränken die Theilnahme, welche die Opticusscheiden an dem Aufbau des Bulbus nehmen, ausschliesslich auf die Sklera, allein ich muss gestehen, dass ich die Frage damit noch nicht für abgeschlossen halten kann. Nach dem, was ich bei der Seeschildkröte und andern niedern Wirbelthieren gesehen habe, bin ich geneigt, anzunehmen, dass ein Theil der Neurilemmfasern auch in die Bindesubstanz der Choroidea übergeht, die an der Eintrittsstelle des Sehnerven bekanntlich eng mit der Fasermasse der Sklera zusammenhängt. Für eine solche Annahme spricht auch der Umstand, dass das Neurilemm des Opticus häufig, besonders bei Fischen, aber auch höhern

Thieren, wie z. B. dem Delphin, von zahlreichen Pigmentzellen durchsetzt ist, die gewissermaassen die Verhältnisse der Choroidea vorbereiten.

Es bedarf übrigens kaum der ausdrücklichen Bemerkung, dass die Sklera nirgends von den aus den Opticusscheiden stammenden Faserbündeln allein gebildet wird, sondern auch eigne Faserzüge enthält, die zur Verstärkung der ersteren dienen und im Allgemeinen um so ansehnlicher und massenhafter sich entwickeln, je mehr die Augenwand an Dicke zunimmt.

§ 27. Da das vordere durchsichtige Segment des Augengrundes, die Cornea, nicht bloss durch seine optischen Eigenschaften, sondern auch in histologischer und anatomischer Beziehung von dem hinteren, der Sklera im engern Sinne des Wortes, so auffallend abweicht, dass man es vielfach als ein ganz selbstständiges Organ betrachten konnte, so dürfte es gerechtfertigt sein, zunächst hier bloss den hintern Theil der Augenwand der Darstellung zu unterbreiten.

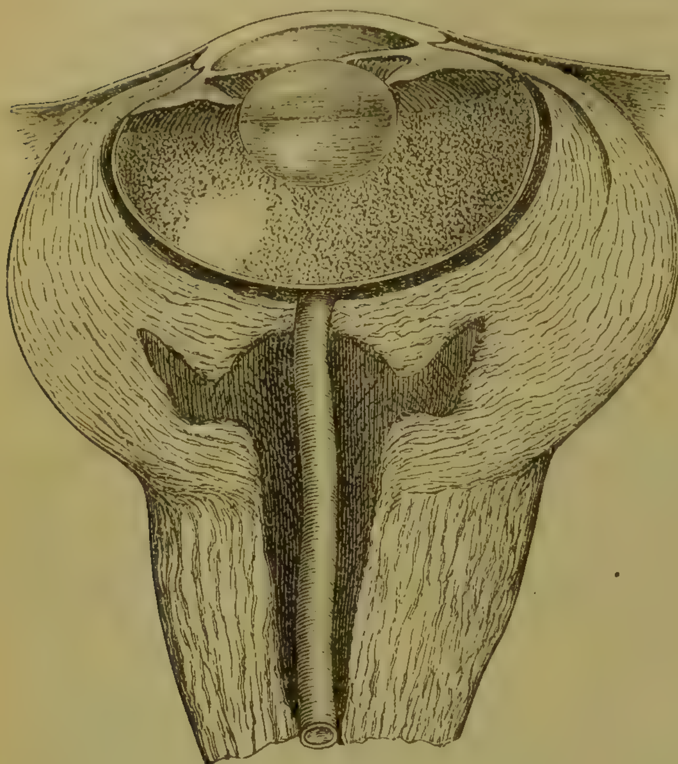
Dass die Sklera oder Lederhaut der Säugethiere (mit Ausnahme allerdings der sog. Monotremen) eine ausschliesslich bindegewebige Textur hat, ist schon oben bemerkt worden. Sie besteht aus Fibrillenbündeln von wechselnder Stärke, die ihrer Hauptmasse nach in meridionaler Richtung hinziehen, also den Längsfasern der Opticusscheide entsprechen, aber von zahlreichen Bündeln äquatorialen Verlaufes durchflochten sind.

Die Zahl und Stärke der letzteren wächst im Allgemeinen mit der Dicke der Sklera und ist besonders bei den grösseren Pflanzenfressern sehr ansehnlich, während Mensch und Affe, die (offenbar in Zusammenhang mit der oben beschriebenen Bildung der Orbita, die das Auge genügend schützt) eine verhältnissmässig nur dünne Sklera haben, vorwaltend meridionale Fasern aufweisen. Es gilt das besonders von den Affen, bei welchen (Chimpanse) fast nur die oberflächlichen Lagen, namentlich der hinteren Hälfte, von äquatorialen Faserzügen durchsetzt sind. Nur der Verbindungstheil macht eine Ausnahme, indem er, wie überall bei den Säugethieren (mit Ausnahme der Walfische), so auch bei den Menschen und Affen von kräftigen Zügen äquatorialer Faserbündel durchzogen wird, die ihn gürtelförmig umfassen, ihn gewissermaassen einschnüren, und dadurch den oben beschriebenen *Sulcus corneae* zur Folge haben.

Bei den Cetaceen besitzen die Faserzüge der Sklera eine so beträchtliche Dicke, dass man sie mit unbewaffnetem Auge deutlich unterscheiden und verfolgen kann. Am besten vielleicht bei dem Delphin, dessen Bündel an Stärke allerdings beträchtlich hinter denen des Walfisches (die theilweise mehrere Millimeter messen) zurückbleiben, aber dafür straff und fest sind und wie Sehnenfasern glänzen. Meridionale und äquatoriale Fasern bilden bei diesem Thiere ein plexusartiges Flechtwerk mit Maschen, die sich eben sowohl nach der Dicke der Sklera, wie nach der Fläche anordnen, obwohl ihre Höhe vielleicht nur die Hälfte der Länge beträgt. Nach Vorn zu, wo die Sklera sich verdünnt, werden die Maschen allmählich niedriger, bis sich schliesslich eine förmliche, wenn auch nur unregelmässige Schichtung der Fibrillenzüge ausbildet, wie sie bei der Mehrzahl der Säugethiere in der ganzen Ausdehnung der Sklera gefunden wird.

An der Insertionsstelle der Augenmuskeln misst die Sklera beim Delphin nur etwa 0,6 Mm., während der Augengrund — auch mit Ausschluss der Opticusscheide — eine Mächtigkeit von 5 Mm. besitzt. So ansehnlich übrigens diese Dicke den gewöhnlichen Verhältnissen gegenüber erscheint, so ist sie im Vergleich mit dem Walfischauge doch nur unbedeutend, denn hier beträgt dieselbe am Augengrunde nicht weniger als 45 Mm. Und diese Dicke bleibt bis an die hintere Grenze des vorderen Dritttheils fast unverändert. Von da an aber beginnt sie ziemlich plötzlich abzunehmen, so dass der Aussenrand des rahmenartigen Verbindungstheiles nur noch etwa 4 Mm. beträgt. Und auch diese Dicke reducirt sich bis zur Einfügung der Cornea noch um etwa die Hälfte; ein Umstand, der darin seine Erklärung findet, dass mit dem *Sulcus corneae* hier auch zugleich die sonst bei den Säugethieren gewöhnliche stärkere Ausbildung der Ringfaserbündel am Verbindungstheile hinwegfällt. Die äussere Fläche des letzteren ist von einem Plexus platter Meridionalbündel gedeckt, die dicht vor der Insertion der Augenmuskeln beginnen, anfangs auch eine ziemlich bedeutende Breite besitzen, im weiteren Verlaufe aber immer mehr sich verschmälern. Sie sind nicht bloss scharf begrenzt, sondern auch mit Pigmentzellen gesäumt, die schliesslich zu einem breiten Cornealringe zusammentreten.

Fig. 27.



Auge von *Balaenoptera* im Längsschnitt.

Wenn man übrigens von dem Walfisch absieht, dann fällt das dünnste Segment der Sklera bei sämmtlichen Säugethieren, auch noch beim Delphin, mit derjenigen Zone zusammen, in der die Augenmuskeln ihren Ansatz finden. Von da nimmt die Dicke sowohl nach vorn, in den Verbindungstheil hinein, wie auch nach hinten bis zur Insertion des Sehnerven allmählich zu, der Art jedoch, dass die nächste Umgebung des letzteren überall die beträchtlichste Dicke besitzt. Unter den Landthieren ist diese beim Elephanten die grösste, doch auch beim Pferd und den übrigen Arten mit grossen Augen immer noch ansehnlich. Der Verbindungstheil erreicht bei den Raubthieren (Fig. 20) relativ die bedeutendste Stärke. Für den Seehund bestimmt Eschricht die Dicke sowohl des Cornealrandes als auch des Augengrundes auf 1 Linie, die der mittleren Zone aber nur auf $^1/_6$.

Die Dicke dieses Verbindungstheiles rührt, wie schon oben bemerkt ist, grossentheils von einer stärkeren Entwickelung der äquatorialen Faserzüge her. Aber auch die Meridionalfasern erfahren eine Verstärkung und das zum Theil

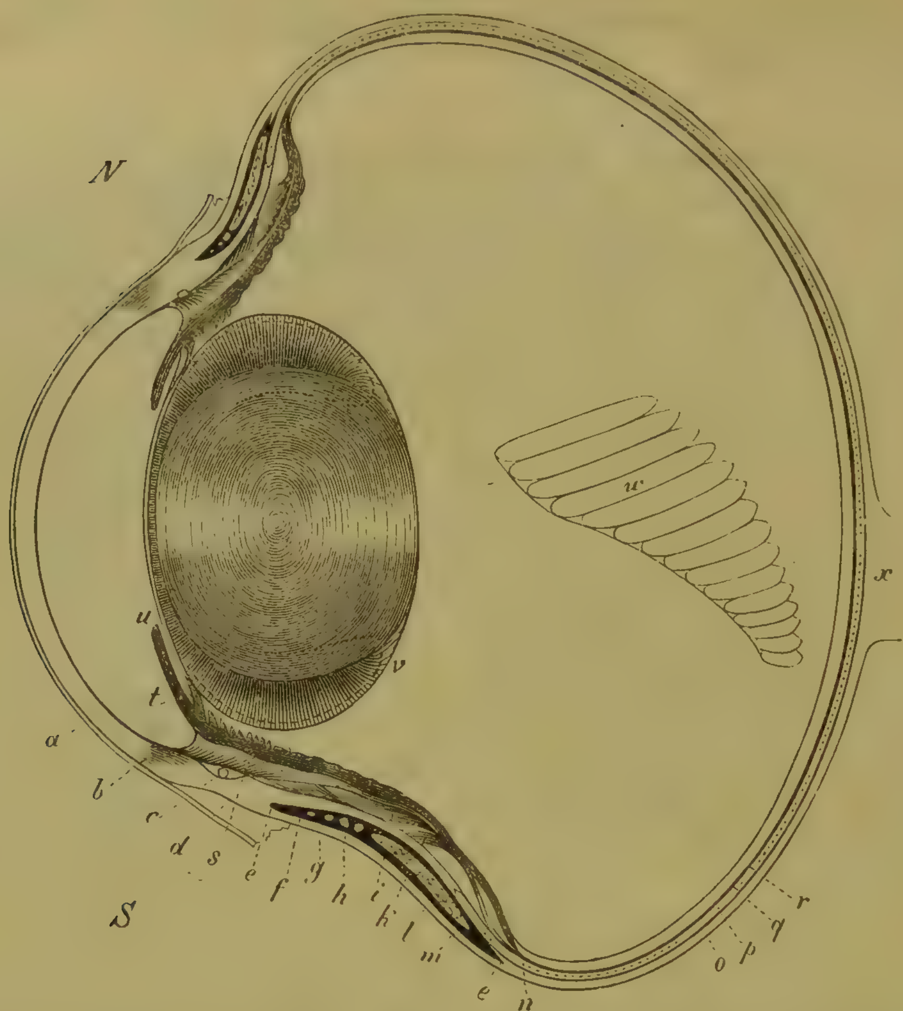
durch Beimischung von Sehnenfasern, welche an der Insertionsstelle der Augenmuskeln in die Sklera übertreten, wie man wiederum beim Walfisch auf das Deutlichste wahrnimmt.

§ 28. Im Gegensatze zu dem Verhalten der Säugethiere besteht die Sklera der übrigen Vertebraten, wie schon oben erwähnt wurde, grossentheils aus einem festern Gewebe, aus Knorpel oder aus Knochen. Die Sklera dieser Thiere enthält also wirkliche Skeletstücke, die in die Bindesubstanzmasse eingelagert sind, so dass sie allseitig, auf der inneren Fläche sowohl, wie auf der äusseren, davon überzogen werden. Die Skeletbildung geschieht auf Kosten der Bindesubstanz, die deshalb denn auch für gewöhnlich um so mehr zurücktritt, je stärker und ansehnlicher die Knorpel- und Knochenmasse sich entwickelt, und in vielen Fällen, besonders bei den Vögeln, kaum mehr als einen dünnen Ueberzug darstellt. In der Regel hat übrigens diese Belegmasse auf der Aussenfläche des Skelets — ausgenommen sind hier freilich die Knochenschuppen des Vogelauges — eine stärkere Entwicklung als auf der inneren. In einzelnen Fällen ist dieser Unterschied so auffallend, dass der Augapfel dadurch eine Grösse bekommt, die viel beträchtlicher ist, als man nach dem Innenraume vermuthen sollte. So namentlich beim Stör, dessen Bulbus fast an die Bildung des Walfischauges erinnert. Im Ganzen ist jedoch die Dicke der Sklera bei den betreffenden Thieren geringer als bei den Säugethieren, ein Umstand, der theils in der Natur des verwendeten Materiales, theils auch in der Kleinheit der Augen seine Erklärung findet.

Soweit die Bindesubstanz der Sklera die eingelagerten Skeletstücke überzieht, besteht sie fast ausschliesslich aus Meridionalfasern, die bald unregelmässig sich kreuzen, bald auch, und häufiger noch, wenigstens auf der Aussenfläche des Skleralknorpels, eine deutliche Schichtung zeigen und dann Verhältnisse wiederholen, wie wir sie in der Sklera der Säugethiere beobachtet haben. Aequatoriale Fasern und Faserbündel treten in grösserer Menge nur an denjenigen Stellen auf, die der Skeletstücke entbehren, vornehmlich also am Vorderrande des Verbindungstheiles, an dem die Bindesubstanz gewöhnlich auch eine sehr beträchtliche Stärke erreicht. Bei den Vögeln wird dieselbe (wie ich am schönsten beim Bussard gesehen) noch von radiären Fibrillenzügen durchzogen, welche nach Art der sog. *Fibrae arcuatae* der Hornhaut (vgl. erste Hälfte S. 172) die tieferen Gewebsschichten direct mit den mehr oberflächlichen in Verbindung setzen. In gleich starker Entwicklung kenne ich dieses System radiärer Fasern nur noch vom Chimpanse, bei dem dieselben freilich mehr das Grenzgebiet des *Sulcus corneae* einnehmen.

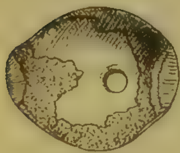
Von den beiden Abschnitten der Sklera ist es übrigens zunächst und vorzugsweise der Augengrund, der eine feste Skeletsubstanz in sich ausscheidet. Es ist in der Regel (auch bei den Monotremen) ein becherförmiges Knorpelstück, welches bis an den Verbindungstheil — oder selbst, wie bei den Fischen, besonders Selachiern, in denselben hinein — reicht und hinten von dem *Nervus opticus* durchbohrt wird (Fig. 28 *p*). Beim Chamäleon findet man statt dieses Bechers nur eine kleine rundliche Scheibe, die den Hintergrund des Augapfels einnimmt, ohne den Sehnerven zu erreichen (Fig. 14). Auch die Fische, beson-

Fig. 28.



Horizontalschnitt des Falkenauges (H. Müller) 4 Mal vergrössert. *S* Schläfenseite. *N* Nasenseite. *a* Hornhaut. *b* Uebergang derselben in die Sclerotica. *c* Ringgefäss in einer dem Schlemm'schen Canal entsprechenden Spalte. *d* Conjunctiva mit dem auf die Hornhaut übergehenden Epithel. *e—e* Knochenring. *f* Musculus Cramptonianus. *g* Fibröse Sclerotica, welche den Knochenring innen bekleidet. *h* Durchschnittener Nerv. *i* Innere, längere Portion des M. tensor choroideae. *k* Aeussere, kürzere Portion desselben Muskels. *l* Freier Raum, welcher dadurch entstanden ist, dass der Ciliarkörper dort nach einwärts gezogen ist, um die Anordnung der Theile deutlicher zu machen. (Hueck's Canalis Fontanae posterior.) Wenn der Ciliarkörper der Sclerotica dicht anliegt, wird auf beiden Seiten die Richtung des M. tensor choroideae eine etwas andere. *m* Elastischer Kranz, welcher von der Innenfläche des Scleroticalknorpels (Lamina fusca) zum Ciliarkörper geht und sich dicht hinter dem Spannmuskel ansetzt. Zwischen ihm und dem hintersten Theil des Ciliarkörpers ist auf der Schläfenseite ein durch künstliche Ablösung erzeugter freier Raum. *n* Vorderes Ende der Retina, welche nach rückwärts an Dicke zunimmt. *o* Aeussere fibröse Platte der Sclerotica. *p* (punctirt) Knorpelplatte. *q* (dunkle Linie) Choroidea. *r* Retina. *s* Canalis Fontanae, von elastischen Balken durchsetzt, welche das Ligamentum pectinatum iridis bilden. *t* Vorderste Spitze eines Ciliarfortsatzes, an der Linsenkapsel fixirt, von welcher nur die vordere Wand durch eine doppelte Linie bezeichnet ist. *u* Iris. *v* Stelle, wo die Fasern der concentrisch geschichteten Linsenpartie in die senkrechten Fasern des peripherischen Rings übergehen. Die Lage der Kerne ist in beiden Schichten durch eine punctirte Linie angezeigt. *w* Fächer. *x* Sehnerv.

Fig. 29.



Hechtauge von hinten gesehen, mit Skleralknorpel und Knochen.

ders die Knochenfische, verhalten sich abweichend, indem bei ihnen statt des sonst vorhandenen *Foramen opticum*, das sich in seiner Weite nach der Dicke des Sehnerven richtet, im Grunde des Knorpelbechers gewöhnlich ein grosses Fenster vorkommt, das eine unregelmässige (meist hufeisenförmige) Gestalt hat und von der häutigen Sklera überspannt wird, die dann ihrerseits den Sehnerven aufnimmt und mit der äusseren Scheide desselben continuirlich verbunden ist (Fig. 17 *b*). Bei manchen Fischen entwickeln sich an der Grenze der compacten Knorpelmasse noch einzelne

Knorpelinseln (Cyprinus u. a.), Gebilde, die beim Aal und Nilhecht sogar an Stelle des gewöhnlichen Knorpelbechers in ganzer Ausdehnung des Augengrundes vorkommen.

Die Dicke des Knorpelbechers ist im Allgemeinen nur eine geringe und allerorten so ziemlich die gleiche. Indessen finden sich auch Ausnahmen, wie bei der Seeschildkröte, bei welcher der Boden des Bechers — freilich erst in einiger Entfernung von der Eintrittsstelle des Sehnerven, die in einer grubenförmigen Vertiefung liegt — 7 Mm. misst, während der Rand kaum 1 Mm. dick ist. Aehnlich verhält sich der Zitterrochen und der Kabliau, die einen hinten gleichfalls ungewöhnlich dicken Skleralknorpel besitzen. In anderen Fällen, besonders bei den Haifischen, schwillt der Knorpel nach der Hornhaut zu bis auf das Drei- und Vierfache seiner sonstigen Dicke an, so dass er auf Meridionalschnitten eine fast keulenförmige Gestalt hat. Der Lachs zeigt an den Ansatzstellen der *Musculi recti* vorspringende Höcker und Wülste, während andere Fische dafür (z. B. der Stichling) auf der Innenfläche des Knorpelbechers gegen die Choroidea hin mit warzenförmigen Erhebungen versehen sind.

In seiner mikroscopischen Zusammensetzung unterliegt der Skleralknorpel grossen Verschiedenheiten, sowohl hinsichtlich seiner Zellen, wie auch der Intercellularsubstanz. Für die ersteren gilt das freilich in einem noch höheren Grade, als für die letztere, die in der grossen Mehrzahl der Fälle und namentlich bei allen Vögeln und Amphibien eine völlig homogene Beschaffenheit besitzt. Nur die Fische verhalten sich anders, indem hier der Skleralknorpel in der Regel (vgl. Langerhans, der den Skleralknorpel der Fische genau untersucht hat) von streifig fibrösen Septis durchzogen ist, die sich unter verschiedenem Winkel kreuzen und auch sonst eine wechselnde Anordnung zeigen, wie man das besonders an Flächenschnitten beobachtet. Gewöhnlich sind dieselben am Hornhautrande am zahlreichsten, während sie nach Hinten zu an Menge abnehmen oder selbst ganz verschwinden. Oder sie bilden einen äquatorialen Ring um die Sklera, während der vordere und hintere Theil frei bleibt. Bei Hexanchus findet sich an der Innenfläche des Knorpels eine Schicht, deren Grundsubstanz zahlreiche feine Fasern einschliesst.

Selbst Gefässe sind dem Skleralknorpel nicht völlig fremd. Ich sehe wenigstens bei der Seeschildkröte, dass die den Knorpel durchsetzenden hinteren Ciliararterien einzelne Zweige an den Knorpel abgeben. Sie fallen um so mehr ins Auge, als die Canäle, welche dieselben umschliessen, von einer tief schwarzen Schicht verästelter Pigmentzellen ausgekleidet sind. Auch die gewöhnlichen Knorpelzellen der Sklera sind bei diesem Thiere — Gleiches berichtet Leydig von Menopoma — mit mehr oder minder zahlreichen Pigmentmolecülen angefüllt, so dass der ganze Knorpel bis auf seine äussere Lage, deren Zellen pigmentlos sind und sich auch durch ihre Stellung scharf gegen die übrigen absetzen, eine sehr ungewöhnliche bläuliche Färbung darbietet. An einzelnen Stellen bilden diese pigmentirten Knorpelzellen mit ihren langgestreckten und verästelten Formen ein förmliches Netzwerk, das bei der ansehnlichen Grösse der Zellen und der Stärke der (freilich nur wenig zahlreichen) Ausläufer leicht sich bemerklich macht.

In der Regel haben übrigens die Knorpelzellen der Sklera bei Amphibien und Vögeln eine einfachere nierenförmige oder rundliche Gestalt und eine sehr viel

geringere Grösse. Um so auffallender aber ist der mannichfaltige Wechsel, den dieselben Gebilde bei den Fischen darbieten. Während die Grösse der Zellen zwischen 0,004 und 0,04 Mm. und noch mehr schwankt, zeigt die Form fast alle nur denkbaren Modificationen. Und das nicht bloss bei verschiedenen Arten, sondern oftmals auch in den verschiedenen Theilen derselben Sklera, ja nicht selten sogar dicht neben einander.

Eben solche Verschiedenheiten zeigt die Vertheilung der Zellen, insofern dieselben mehr oder minder gleichmässig und häufig durch die Substanz des Knorpels vertheilt sind. Besonders hervorzuheben ist in dieser Hinsicht der Umstand, dass die äussere und innere Fläche des Skleralknorpels bei den Knochenfischen gewöhnlich von einer bald schmalen, bald auch breitern völlig zellenlosen Hyalinsubstanz gebildet wird oder Zellen enthält, die durch Stellung und Form von den mehr centralen Zellen sich unterscheiden. Beim Lachs ist diese Hyalinsubstanz jederseits wieder von einer dicken Lage zellenhaltigen Knorpels bedeckt, der schon mit unbewaffnetem Auge erkannt wird und der Schnittfläche ein geschichtetes Ansehen giebt.

Bei manchen Fischen, z. B. der Schleihe, beobachtet man zahlreiche Uebergänge zwischen den peripherischen Knorpelzellen und den Zellgebilden der anliegenden Bindesubstanz; man sieht, mit andern Worten, wie sich bei den betreffenden Thieren (und ebenso verhalten sich die Knorpelfische, Amphibien und Vögel, von denen namentlich die Haie zur Constatirung dieses Verhältnisses sich empfehlen) die Bindegewebskörperchen direct in Knorpelkörperchen sich verwandeln, während bei Anwesenheit einer hyalinen Oberflächenschicht eine solche Umbildung nur am vorderen Rande des Skleralknorpels stattfindet.

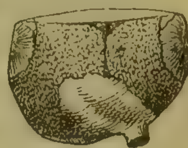
Der Skleralknorpel liefert also den Beweis, dass der Knorpel ebenso wie der Knochen (ob immer, ob bloss gelegentlich, bleibt noch zu untersuchen) ein peripherisches Wachsthum besitzt. Dass ihm daneben aber auch ein interstitielles Wachsthum zukommt, beweist die schon von Langerhans beobachtete Thatsache — die ich beim Hering, der Scholle und unsern Weissfischen bestätigt finde —, dass die mit Knorpelzellen durchsetzte mittlere Zone, die bei jugendlichen Exemplaren nur eine einzige Lage von Zellen aufweist, mit der Zeit immer breiter wird und immer zahlreichere Knorpelzellen bekommt. Dass es übrigens einzelne Arten giebt, die zeitlebens nur eine einfache Lage von Knorpelzellen besitzen, beweist der sonderbare Argyropelecus, der auch insofern eine exceptionelle Stellung einnimmt, als der Skleralknorpel desselben continuirlich in eine dünne und durchsichtige homogene Membran sich fortsetzt, die an Stelle der sonst faserigen Sklera und Cornea die Augenwand des Bulbus abgiebt. In anderen Fällen (Blennius) wird auch wohl der hintere Rand des Knorpels in mehr oder minder grosser Ausdehnung, ja bisweilen selbst der ganze Knorpel von einer zellenlosen homogenen Platte gebildet (Langerhans).

Daneben fehlt es unter den Fischen aber auch nicht an Beispielen einer Verkalkung des Knorpels. Sie besteht entweder in der Ablagerung feiner Kalkkörperchen oder einer vollständigen Verglasung und findet sich namentlich, in der einen Form so gut, wie in der andern, in den oberflächlichen Knorpellagen der Plagiostomen, am stärksten bei dem Hammerfisch, dessen Skleralknorpel von der Eintrittsstelle des Opticus bis an seine Vorderwand von zusammenhängenden

festen Kalkschichten bekleidet ist. In anderen Fällen beschränkt sich diese Verkalkung auf den vorderen Rand des Skleralknorpels, wie u. a. bei dem Mondfisch, der im nasalen, wie im temporalen Segmente des Auges eine schildförmige Verkalkung von ansehnlicher Grösse zeigt.

An genau derselben Stelle besitzt die grössere Anzahl der Knochenfische (darunter sämmtliche Stachelflosser) ein Paar halbmondförmiger Knochenplatten von mehr oder minder grosser Ausdehnung. Sie bilden sich auf der Aussenfläche des Knorpels, nehmen aber später, wenn dieser, meist nach vorhergegangener Verkalkung, von ihnen verdrängt ist, dessen Stelle ein. Histologisch bestehen dieselben aus feinen, über einander geschichteten Lamellen, die hinsichtlich der zelligen Einlagerungen mit den Knochen des übrigen Körpers übereinstimmen, nicht selten also der Knochenkörperchen völlig entbehren oder auch statt derselben Zahnkanälchen haben. Ausserdem finden sich im Knochen, sobald er nur einigermaassen dick wird, noch Markräume und Gefässcanäle, die bald Fettzellen enthalten, bald auch nicht.

Fig. 30.



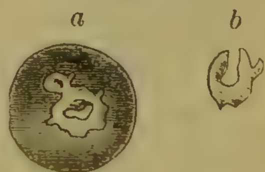
Hechtauge mit seinen Knochenschuppen an dem nasalen und temporalen Segmente.

Bei den Aalen, Welsen, Stichlingen, Schellfischen u. v. a. fehlen diese Knochen, bei manchen bleiben sie klein, während sie andererseits gelegentlich so gross werden, dass sie nicht bloss weit nach hinten reichen, sondern auch in Mitte des Auges einander berühren. Auf diese Weise entsteht z. B. beim Thunfisch und Schwertfisch eine förmliche Knochenkapsel, die den grössten Theil des Auges umgiebt, nach hinten aber immer noch mit Knorpelmasse in Verbindung bleibt. In einzelnen Fällen verlängern sich die einander gegenüberliegenden Knochen bis an das fibröse Fenster der Sklera, so dass der Knorpel dann in zwei isolirte Stücke zerfällt, von denen das eine dem frontalen, das andere dem facialen Augensegmente angehört.

Die hier beschriebenen Knochenstücke dürften wohl vornämlich dazu dienen, den Augapfel gegen den Druck zu schützen, der durch die Beweglichkeit der Gesichtstheile bei den Knochenfischen bedingt ist und um so verhängnissvoller wirken könnte, als das Auge derselben nicht bloss beträchtlich gross ist, sondern auch in einer nur sehr unvollkommen verkapselten Orbita liegt. In dieser Beziehung dürfen wir die Skleralknochen bei den Fischen als einen Ersatz für die mangelhaft gebildeten Orbitalknochen ansehen.

§ 29. Anders sonder Zweifel ist die Bedeutung gewisser Knochenbildungen, die bei den kleineren Vögeln, besonders den Singvögeln (aber auch beim Thurmfalken und dem Spechte) an dem hinteren Segmente des Skleralknorpels, da, wo der Sehnerv eintritt, gefunden werden. Gewöhnlich erscheinen dieselben unter der Form eines hufeisenartig gekrümmten Knochenbogens, der den inneren Rand des Skleralbechers umfasst, gelegentlich aber auch (Colibri) durch Verkümmerung der Schenkel auf ein halbmondförmiges Knöchelchen oder (Gimpel) durch Schwund des Mittelstückes auf zwei Knochenleisten reducirt wird. Am ansehnlichsten ist die Entwicklung dieses

Fig. 31.



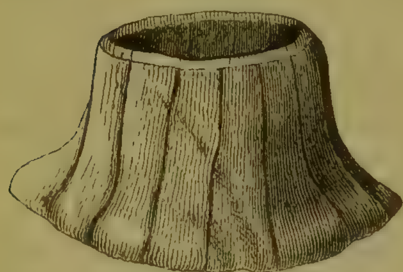
Hinterer Skleralknochen, *a* vom dreizehigen Specht, *b* von der Krähe (nach Gemminger).

Knochens bei den Spechten, bei denen er nicht bloss (Fig. 31*a*) ringförmig um die Eintrittsstelle des Sehnerven herumgreift, sondern gelegentlich auch noch seitlich von einer selbstständigen kleinen Ossification begleitet wird. Gemminger, der dieses schon von Rosenthal (1811) gesehene, aber nur kurz erwähnte und später in Vergessenheit gerathene Knöchelchen (1853) wieder auffand, sieht darin eine Einrichtung zum Schutze des Sehnerven.

Ueber die Entwicklung des Knochens und seine Beziehungen zu dem Skleralknorpel ist Nichts bekannt, doch steht zu vermuthen, dass die letzteren ganz ähnlich denjenigen sein werden, die wir für die Skleralknochen der Teleostier oben kennen lernten. Mit der Mehrzahl dieser letzteren stimmt derselbe auch darin überein, dass er von grösseren oder kleineren, meist netzförmig zusammenhängenden Markräumen durchbrochen ist, die Blutgefässe und Fettzellen in sich einschliessen.

Anders verhält sich in dieser Beziehung der sog. vordere Scleroticalring der Vögel, der, wie durch Kaiser Friedrich II. zuerst bekannt geworden ist, den trichterförmigen Verbindungstheil der Sklera umfasst und in der charakteristischen Form erhält, die wir früher an demselben kennen lernten (Fig. 16, 21, 22). Die Knochenschuppen, die, durch dachziegelförmig übergreifende Seitenränder verbunden, diesen vorderen Ring zusammensetzen, bilden sich ohne irgendwelche knorplige Unterlage und sind, wenn wir einzelne wenige Fälle, namentlich die grossen äusseren Schuppen des Bussard ausnehmen, ohne Markräume und Gefässe. Ihre Zahl[1]) schwankt gewöhnlich zwischen 12 und 15. Nur bei Alca arctica findet sich die doppelte Zahl (30), da die einzelnen Schuppen hier in eine vordere kleine und hintere grössere Hälfte getheilt sind. Die Grösse und namentlich die Höhe der Platten zeigt je nach der Gestalt des Verbindungstheiles mancherlei Unterschiede. Besonders ansehnlich erscheinen dieselben bei den Eulen, wo sie mehr als doppelt so hoch wie breit sind, während sonst gewöhnlich Länge und Breite einander ziemlich gleichen.

Fig. 32.



Scleroticalring der Schneeeule.

Unter den Amphibien finden wir diesen Scleroticalring nur bei den Schildkröten und Eidechsen (nicht den Krokodilen, denen Sömmering denselben unrichtiger Weise gleichfalls zuschreibt), bei den einzelnen Formen aber von sehr ungleicher Entwicklung. Während die Schuppen z. B. bei Chelonia eine sehr beträchtliche Grösse und Dicke besitzen, auch von ansehnlichen Havers'schen Canälen durchzogen werden, sind sie bei dem Chamäleon (Fig. 14) nur dünn und so klein, dass sie nirgends über die den Umkreis der Linse umfassende schmale Zone hinausragen. Unsere einheimischen Lacerten besitzen Knochenschuppen, die sich nach Hinten in einen flachen stielartigen Fortsatz ausziehen, der bis über den Anfangstheil des Skleralknorpels hinausgreift.

Bei den Fischen fehlen derartige Verknöcherungen, es müsste denn sein, dass die gleichfalls schon von Rosenthal beobachteten zwei halbmondförmigen

1) Vgl. hierüber besonders Albers, Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Bremen 1802.

Knochenplatten, die bei dem Stör den obern und untern Rand der Hornhaut begrenzen und wegen ihrer oberflächlichen Lage gewöhnlich als Hautknochen betrachtet werden, denselben zugehörten. Und das ist um so weniger unwahrscheinlich, als auch sonst die Knochen des Augenringes sehr oberflächlich liegen und im Gegensatze zu dem Skleralknorpel aussen nur von einer dünnen Lage weichen Bindegewebes überzogen sind.

§ 30. Schon die histologische Beschaffenheit der Sklera lässt vermuthen, dass ihr Blutreichthum nicht besonders gross ist. Stärkere Gefässe trifft man fast ausschliesslich auf der Aussenfläche. Sie bilden hier ein weitmaschiges Netzwerk, aus dem ein gleichfalls weitmaschiges Capillarnetz hervorkommt. Das eigentliche Gewebe der Sklera ist nur an einer einzigen Stelle, hier aber sehr constant, bei den niederen so gut wie bei den höheren Wirbelthieren, mit grösseren Gefässen ausgestattet. Es ist die Umgebung des Cornealrandes, die kranzartig von einer Anzahl plexusartig verbundener Stämmchen durchzogen wird, deren Oeffnung man in wechselnder Zahl und Lage an feinen Meridionalschnitten auf das Bestimmteste wahrnimmt.

§ 31. Die Cornea verdankt ihre durchsichtige Beschaffenheit vornehmlich dem Umstande, dass sie eine sehr viel feinere und gleichmässigere Structur besitzt, als die Sklera. Aber die Grundzüge des Baues bleiben trotz alledem die gleichen; man sieht sogar die Schichten und Bündel der Sklera mehr oder minder deutlich in das Gewebe der Cornea sich fortsetzen, so dass sich letztere trotz aller entgegenstehenden Angaben nur als ein eigenthümlich modificirtes Segment der gemeinen Augenhaut betrachten lässt. Das schliesst allerdings nicht aus, dass sich der aus der Sklera übertretenen Bindesubstanz gelegentlich noch neue Massen hinzugesellen, wie das besonders bei den Fischen geschieht, bei denen (sehr schön z. B. am Goldchloridpräparate des Hechtauges, Fig. 33) die ganze hintere Hälfte der Cornea autochthonen Ursprunges ist.

Fig. 33.



Cornea und Iriswinkel (mit *Ligamentum annulare iridis*) vom Hecht.

Man giebt der Cornea gewöhnlich einen lamellösen Bau, und ein solcher ist auch bei der grösseren Mehrzahl der Wirbelthiere unschwer nachzuweisen. Aber nicht bloss, dass schon die Sklera glegentlich eine fast eben so regelmässige Schichtung zeigt, wie die Cornea, es giebt andererseits auch zahlreiche Wirbel-

thiere, bei denen diese Schichtung, sei es in ganzer Ausdehnung oder an bestimmten Stellen, besonders am Aussenrande — ich verweise hier wiederum auf den Hecht, bei dem sich (Fig. 33) zwischen die mehr regelmässig geschichteten Corneallamellen am Rande ein keilförmiger Bindegewebsring von unregelmässiger Structur einschiebt — durch eine anderweitige Anordnung mehr oder minder verdrängt wird. Es wäre überdiess eine irrthümliche Auffassung, wenn man die Lamellen der Cornea durch die ganze Fläche derselben ohne Unterbrechung und Zusammenhang mit den anliegenden Schichten hindurchziehen liesse. Man sieht dieselben vielmehr oftmals sich spalten und mit den benachbarten Lamellen zu neuen Combinationen zusammentreten und das mitunter (Delphin, Seeschildkröte, Hecht, Barsch, bei dem letzteren namentlich in den unteren Randschichten) so häufig und in so auffallender Weise, dass man sich versucht sieht, die Bindesubstanz der Cornea als einen förmlichen Plexus mit vorwaltend flächenhafter Ausbreitung zu betrachten.

In dieser Auffassung wird man noch bestärkt, wenn man bei verschiedenen Wirbelthieren, besonders solchen mit dickeren Lamellen (Hecht, Delphin), weiter constatirt, dass diese letzteren nicht etwa homogen sind, sondern aus parallel neben und über einander gelagerten Bindegewebsbündeln bestehen, die sich von den entsprechenden Bildungen der Sklera nur durch eine grössere Feinheit und eine festere Vereinigung unterscheiden. Gleich den letzteren zeigen diese Bündel sogar in mehr oder minder regelmässiger Abwechslung einen bald äquatorialen, bald auch meridionalen Verlauf, doch so, dass letzterer, wie das ja auch für die Sklera gilt, im Allgemeinen vorwaltet.

Am auffallendsten finde ich das Verhalten dieser Bindegewebselemente bei den Vögeln (Bussard), indem hier die in einzelnen Lagen über einander angeordneten meridionalen Bündel bogenförmig bald nach Aussen, bald auch nach Innen von dem gewöhnlichen Verlaufe abbiegen und durch ihre Kreuzung ein Maschenwerk bilden, das dann zur Aufnahme der bandförmig zusammengefügten Aequatorialbündel dient. Die lamellöse Anordnung hat hier einer unverkennbar plexusartigen Bildung Platz gemacht.

Fig. 34.



Die Hornhautkörperchen auf einem mit Goldchlorid imprägnirten Querschnitt der Froschcornea (nach Rollet).

Dass die sternförmig verästelten Hornhautzellen immer nur an den Oberflächen der Lamellen liegen, stimmt vollkommen mit den Verhältnissen überein, die man an den Bindegewebskörperchen der Sklera constatiren kann, sobald diese einen gleichfalls geschichteten Bau hat. Beim Hechte sehe ich übrigens

(an Goldchloridpräparaten), dass diese Zellen nach dem hier stark verdickten Cornealrande hin immer zahlreicher werden und schliesslich einen fast continuirlich zusammenhängenden Belag bilden, der die Lamellen von einander trennt und die Vermuthung erweckt, dass es sich hier um die Auskleidung spaltförmig zwischen den Lamellen hinziehender Lymphräume handele. Die Vermuthung gewinnt dadurch an Wahrscheinlichkeit, dass dieser Rand bei den einzelnen Hechten eine sehr ungleiche Dicke besitzt.

Pigmentzellen fehlen natürlich der Cornea, und das auch da, wo die Sklera reichlich damit versehen ist, wie beim Kalb, Chimpanse, Meerschweinchen, der Seeschildkröte u. s. w. Gleiches gilt in Bezug auf die Blutgefässe, die höchstens am Rande eine aus schlingenförmigen Bögen zusammengesetzte Garnitur bilden, ohne jedoch tiefer in die Substanz der Cornea einzutreten. Und auch diese peripherischen Gefässe gehören mehr der über den Bulbus hinziehenden Conjunctiva, als der Cornea selbst an.

So weit übrigens die Conjunctiva auf der Cornea aufliegt, hat sie gleichfalls eine durchsichtige Beschaffenheit. Sie ist auf ein dünnes mit Epithel bedecktes Häutchen reducirt, das sich in der Regel nur schwer von dem Cornealgewebe abtrennt. Bei den Fischen, bei denen diese Abtrennung leichter geschieht, besitzt die *Conjunctiva corneae* eine grössere Dicke und nicht selten auch noch die genuine Structur der Cutis. In einzelnen Fällen wird die Cornea sogar an Dicke von der Conjunctiva übertroffen. So namentlich bei dem Neunauge (Fig. 36), bei dem sich im — blinden — Larvenzustande (Ammocoetes) zwischen Conjunctiva und Cornea sogar noch eine ziemlich ansehnliche Lage lockerer Bindesubstanz einschiebt, die selbst den ausgebildeten und sehenden Geschöpfen nicht gänzlich abgeht.

Auch die Innenfläche der Cornea ist gewöhnlich bei den Wirbelthieren von einer structurlosen Membran, der sog. *M. Descemetii*, überzogen, die namentlich bei den Säugethieren eine ansehnliche Dicke erreicht, bei dem Pferde z. B. den achten Theil der gesammten Cornea ausmacht. Wir werden später sehen, wie diese Descemet'sche Haut an der Anheftungsstelle der Iris nicht selten mit der letzteren in eine eigenthümliche Verbindung tritt und in ein System von Balken und feineren Fasern (das *Ligamentum pectinatum*) sich auflöst, die den sog. Fontana'schen Raum (*Canalis Fontanae*) abgrenzen. Eine ähnliche Bildung findet sich auch bei den Fischen, wenigstens den Knochenfischen, nur dass das Ligament hier solid ist und die Iris in einer meist grösseren Ausdehnung — bisweilen sogar in ganzer Länge — dem gewulsteten Cornealrande verbindet. Schon Rosenthal hat die »Verklebung« zwischen Iris und Cornea bei den Fischen gesehen, aber nicht näher untersucht, während sie den späteren Beobachtern fast vollständig entgangen ist.

Das Gebilde, um das es sich hier handelt, besteht aus einem bald dichtern, bald mehr lockern Maschenwerke, dessen Fasern beim Hecht (Fig. 33) theils der hinteren Belegschicht des Skleralknorpels entstammen, theils auch durch fibrilläre Auflösung der untersten Cornealschichten ihren Ursprung nehmen. Die Maschenräume sind mit einer hellen Substanz gefüllt, in der man gelegentlich deutlich Zellen und Zellenkerne, beim Hechte auch einzelne Pigmentzellen unterscheidet. Hier und da sieht man sogar in der Nähe der sog. Argentea die Durchschnitte von

Blutgefässen, so dass es unmöglich ist, das betreffende Gebilde scharf gegen die Iris abzusetzen.

Fig. 35.

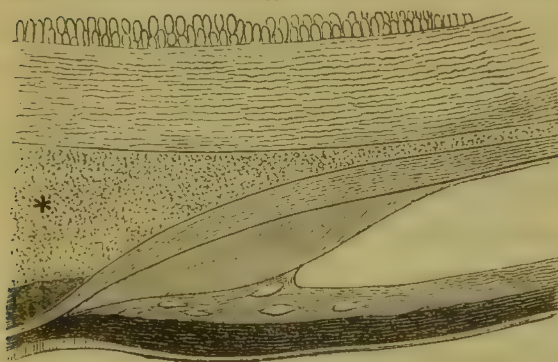


Cornea, *Ligamentum annulare* und Iris eines Weissfisches.

In der Regel fehlen übrigens sowohl die Pigmentzellen, wie die Blutgefässe, und dann erscheint das Ligament als ein helles ringförmiges Organ, das sich in Form eines mehr oder minder hohen Wulstes zwischen Cornea und Iris einschiebt. So sehe ich es bei der Mehrzahl der von mir untersuchten Knochenfische, am schönsten bei einem Weissfische (Cyprinus gobio), bei dem es ein ansehnliches, von feinen und scharf gezeichneten Fasern durchsetztes Gewebe darstellt, welches durch sein Aussehen fast an das Chordalgewebe erinnert. An seiner freien Fläche ist dasselbe von einer Faserlage gedeckt, die aus den untern Schichten der Cornea sich ablöst und auch über die Iris sich fortsetzt, so dass man fast annehmen könnte, es wäre das ganze Ligament zwischen die unteren Lamellen der Cornea eingelagert.

Bei den Plagiostomen habe ich an den Augen eines jungen Scyllium vergebens nach diesem Gebilde gesucht. Dagegen finde ich es wieder bei den Neunaugen, nur dass es hier (Petromyzon fluviatilis) einen hellen und anscheinend ganz homogenen Ringwulst darstellt, der sich mit seiner oberen Fläche an den Rand der Cornea anlegt und der Iriswurzel mittelst eines groben Fasergewebes verbunden ist. Nach der Darstellung von Langerhans hat dieses Organ bei Petr. Planeri eine noch grössere Entwicklung, besonders im Larvenzustande (Ammocoetes), in dem es die ganze vordere Augenkammer ausfüllt. Auf Grund der Angabe von Hensen[1], dass auch die Descemet'sche Membran anfangs eine beträchtliche Dicke besitze und beim Schaaf, Kaninchen und Meerschweinchen im Embryozustande die vordere Kammer fülle, wird das betreffende Gebilde gleichfalls als *Membrana Descemetii* in Anspruch genommen. Die bei Petromyzon fluviatilis sehr deutliche Cornea hat Langerhans eben so wenig wie die Sklera aufgefunden. Die *Membr. Descemetii* wird als eine Fortsetzung der Choroidea betrachtet, die durch Spaltung von der Iris sich abgetrennt habe.

Fig. 36.



Iriswinkel mit *Ligamentum annulare*, Cornea und Conjunctiva. Bei * eine Lage subcutanen Bindegewebes.

Da das Gewebe der Cornea in ganzer Ausdehnung seine histologische Beschaffenheit behält, so zeigt der Rand derselben gewöhnlich eine scharfe Begren-

1) Archiv für mikroscop. Anatomie II. S. 420.

zung. Am deutlichsten da, wo der Verbindungstheil eine grössere Dicke besitzt. Es sieht fast aus, als wenn Sklera und Cornea durch eine Naht mit einander vereinigt wären. Da die Sklera mit ihrer Aussenfläche in der Regel über den Rand der Cornea hinüber greift, so ist es gewöhnlich das Bild einer Schuppennaht, das dem Beobachter dabei entgegentritt.

Besonders auffallend ist diese Bildung bei den grösseren Raubvögeln (Fig. 28 *b*), bei denen der übergreifende Saum gelegentlich 2 Mm. misst, so dass man ihn als ein besonderes Gebilde (*Ligamentum annulare corneae*) beschreiben konnte, das die Convexität der Hornhaut verändere und das Auge für verschiedene Entfernungen accommodire. Weit seltener erscheint der Rand der Cornea in die Sklera eingefalzt (Lepus, Phoca) oder derselben einfach aufgesetzt, so dass die innere Lippe dem Mittelpuncte näher liegt, als die äussere.

Dass die Cornealsubstanz übrigens trotz dieser scheinbaren Naht mit dem Bindegewebsskelet der Sklera in continuirlichem Zusammenhange steht, ist schon oben erwähnt und (wenigstens für die meridionalen Bündel) in allen jenen Fällen auf das Bestimmteste nachweisbar, in denen die cornealen Bindegewebsbündel eine grössere Stärke besitzen. Ich nenne nur die Seeschildkröte, den Delphin und auch den Bussard, bei denen man auf dünnen Schnitten den directen Uebergang der Bündel aus der Sklera in die Cornea auf das Klarste verfolgen kann. Der Uebergang wird dadurch vorbereitet, dass die Bindegewebsbündel der Sklera sich regelmässiger in einzelne über einander liegende Schichten zusammengruppiren. Beim Walfisch kann man diesen Uebergang schon mittelst der Loupe constatiren.

Die Dicke der Cornea ist übrigens sehr allgemein eine geringere, als die der Sclerotica oder doch wenigstens der zunächst anliegenden Zone. Bei den im Wasser lebenden niederen Wirbelthieren ist dieser Unterschied sogar ein sehr merklicher und die Cornea — mit Ausschluss vielleicht des nicht selten (besonders beim Hecht Fig. 32) wulstförmig verdickten Aussenrandes — geradezu dünn zu heissen. Die dickste Cornea besitzen übrigens die Säugethiere, besonders die Raubthiere, bei denen dieselbe, in der Randzone wenigstens, nur unbeträchtlich hinter der Sklera zurückbleibt. Bei den Fledermäusen soll dieselbe sogar die Sklera an Dicke übertreffen. Nach der Mitte hin wird die Dicke überall geringer, so dass die Krümmungslinien der Begrenzungsflächen, statt concentrisch zu sein, einem verschiedenen, innen kürzern Radius angehören.

§ 32. Ueber den Krümmungsradius der Cornea haben wir sonst übrigens schon oben (§ 20) gehandelt. Wir wissen aus den damals gemachten Angaben, dass derselbe bei den Landthieren kleiner, bei den Wasserthieren aber grösser ist, als der der Sklera, dass die Hornhaut, mit andern Worten, bei den ersteren eine starke Krümmung zeigt und uhrglasartig aus der Kugelfläche des Bulbus vorspringt (Fig. 20, 21, 22 u. a.), während sie bei den anderen (Fig. 27, 30) mehr die Form eines Fensters besitzt. Plateau will sich sogar davon überzeugt haben, dass die Hornhaut nicht bloss der eigentlichen Wasserthiere, sondern auch der amphibiotisch lebenden Wirbelthiere (also auch der Batrachier, Chelonier, Wasservögel, Cetaceen und Seehunde), so weit sie vor der Linse hinzieht, völlig oder so gut wie völlig platt sei. Es soll das selbst für jene Fälle gelten, in denen die Hornhaut einen Vorsprung macht, indem dieser, wie behauptet wird,

immer nur durch eine Erhebung der Randzone zu Stande komme, für den Durchtritt der Lichtstrahlen also ausser Betracht bleibe.

Der Antheil, den die Cornea an dem Aufbau des Bulbus nimmt, richtet sich natürlich nach der Grösse derselben, und diese zeigt nicht unbeträchtliche Schwankungen. Am kleinsten finde ich sie bei der Seeschildkröte, bei der die Cornea etwa den vierten Theil der Augendurchmesser hat (9 Mm. : 33). Auf diese folgt das Chamäleon (Fig. 14) mit einer Cornea von nur 2,5 Mm. (Augendurchmesser 8,5 Mm.), also einem Verhältniss von 1 : 3,5, und der Walfisch (Fig. 27), bei dem die grössten Durchmesser der Cornea und des Bulbus 36 und 120 Mm. betragen, also 1 : 3,4. Die relative Kleinheit der Hornhaut bei dem Walfisch ist um so auffallender, als die durch Aufenthalt und Lebensweise demselben nahe stehenden Fische (Fig. 30) von allen Wirbelthieren durchschnittlich die grössten Hornhäute besitzen, indem die Durchmesser derselben nach den mir zu Gebote stehenden Messungen zu denen des Bulbus sich ziemlich übereinstimmend 1 : 1,3—1,5 verhalten. Unter den höheren Wirbelthieren giebt es übrigens einzelne, die noch grössere Hornhäute besitzen. So namentlich die Fledermäuse und Mäuse, deren Cornea nahezu die Hälfte des ganzen Bulbus in Anspruch nimmt. H. Müller bestimmte den Durchmesser bei der Ratte, deren Bulbus 6,75 Mm. misst, auf 6,3 Mm. (1 : 1,07). Die Ringelnatter hat eine Cornea von 6 Mm. bei einem Augendurchmesser von fast 7 (1 : 1,15). Aehnlich der Frosch, bei dem die betreffenden Maasse 7 und 8,8 Mm. betragen, also wie 1 : 1,2 sich verhalten. Beim Kaninchen finde ich 13 und 17 Mm. = 1 : 1,3, beim Stachelschwein 11 und 15 Mm. = 1 : 1,36.

Es gewinnt hiernach fast den Anschein, als wenn die kleineren Augen durchschnittlich mit den relativ grössten Hornhäuten ausgestattet wären. Und das erscheint uns auch von vorn herein plausibel, wenn wir bedenken, dass — unter sonst gleichen Umständen — mit der Grösse der Hornhaut zugleich die Menge der von den einzelnen Puncten in das Auge fallenden Lichtstrahlen und in Folge dessen dann auch die Lichtstärke des Gesichtsbildes wechselt, das kleine Auge also, das bei einer entsprechenden Verkleinerung der Cornea nur wenig helle Bilder sehen würde, durch die relative Grösse seiner Hornhaut die Möglichkeit gewinnt, eine bedeutendere Lichtstärke zu erzielen. Besonders wichtig erscheint dieser Vortheil für die Dämmerungsthiere, denen wir ja auch die im Wasser lebenden Fische zuzählen müssen. Damit stimmt es auch, wenn wir sehen, dass der Luchs (Fig. 20) bei 31 Mm. Augendurchmesser eine Cornea von 22 Mm. hat (1 : 1,4) und ebenso der Uhu (Fig. 15) eine solche von 23,5 (auf 41 Mm., also 1 : 1,8), während die Vögel sonst (Fig. 16, 22) eine Cornea besitzen, deren Durchmesser ungefähr die Hälfte des äquatorialen Augendurchmessers beträgt, bald etwas mehr (z. B. Bussard, Reiher), bald etwas weniger (Schwan, Trappe, Strauss). Auch bei den grösseren Säugethieren (Fig. 19) treffen wir dieses Verhältniss (Elephant, Pferd, Mensch, Chimpanse), obwohl die Durchschnittsziffer im Ganzen hier tiefer liegt, d. h. die Säugethiere eine verhältnissmässig grössere Cornea besitzen. Es gilt das namentlich auch für die Wiederkäuer, bei denen ich hinsichtlich der Querdurchmesser ziemlich gleichmässig ein Verhältniss von 1 : 1,4—1,5 finde. Bei den Eidechsen misst der Durchmesser der Cornea wiederum etwa die Hälfte des Augendurchmessers, so dass wir das Verhältniss 1 : 2 im Grossen und Ganzen als das normale für die Wirbelthiere ansehen dürfen. Die Abweichungen

werden in den einzelnen Fällen durch die subjectiven Bedürfnisse der betreffenden Arten ihre Motivirung finden.

Die bis dahin angezogenen Maasse geben uns übrigens deshalb noch kein genügendes Bild von den Grössenverhältnissen der Hornhaut, weil sie nur einen einzigen Durchmesser, den Querdurchmesser, berücksichtigen, die Hornhaut aber oftmals von der Kreisform mehr oder minder ins Ovale abweicht. Und das nicht bloss bei Thieren, deren Bulbus eine merkliche Verkürzung des Verticaldurchmessers erleidet, sondern auch bei solchen mit einem mehr sphäroidalen Bulbus. Ueberdiess ist bei den ersteren die ovale Form der Cornea nicht selten in einem höheren Grade ausgebildet, als es die Gestaltung des Auges vermuthen lässt. So namentlich bei den Hufthieren und Cetaceen, deren Cornea nicht bloss eine exquisit ovale Form hat, sondern oftmals auch (Pferd, Rind, Reh u. a.) an der Nasenseite breiter und stumpfer gerundet ist, als an der Schläfenseite, so dass Sömmering die betreffende Form beim Pferde geradezu dreieckig nennen konnte. Wir werden durch diese Asymmetrie daran erinnert, dass auch das temporale Segment des Augengrundes, das der breiteren Corneahälfte gegenüber liegt, sehr häufig bei den Säugethieren und namentlich den eben genannten Arten stärker ausgebuchtet und weiter ist, als das nasale.

Beim Walfisch, Pferd, Rind beträgt der Unterschied des horizontalen und verticalen Cornealdurchmessers fast ein Drittel (36 : 24 beim Walfisch, 29 : 22,5 beim Rind, wobei jedoch zu bemerken, dass in Uebereinstimmung mit der für letzteres eben hervorgehobenen unregelmässigen Form der verticale Durchmesser an der Grenze der zwei inneren Drittheile seine grösste Länge hat, an einer Stelle, der in der Aussenhälfte des Bulbus nur eine Höhe von 20 Mm. entspricht). Beträchtlich geringer ist der Unterschied beim Reh (16 : 14) und noch geringer beim Elephanten (20 : 19). Solche kleinere Differenzen sind übrigens auch sonst noch unter den Säugethieren weit verbreitet, beim Hasen (13 : 12), beim Chimpanse (11 : 10,5), bekanntlich auch beim Menschen. Bei den zwei ersteren ist dabei der Nasenrand der Cornea kreisrund, der Schläfenrand aber deutlich elliptisch, so dass hier ähnliche Formverschiedenheiten der inneren und äusseren Hornhauthälfte obwalten, wie wir sie, nur auffallender, bei den Wiederkäuern oben erwähnt haben.

Unter den niederen Wirbelthieren kenne ich derartige Unterschiede nur bei dem Frosch und den Fischen, bei denen der Verticaldurchmesser gewöhnlich um ein Siebentel kürzer ist, als der horizontale. Bei dem Rochen (Fig. 18) beträgt der Verticaldurchmesser der Cornea sogar nur ungefähr den dritten Theil des Querdurchmessers.

Mit dieser Ungleichheit verbinden sich nicht selten auch sonst noch gewisse Unregelmässigkeiten, wie z. B. bei dem Haifisch (Hexanchus), bei dem nicht bloss die beiden Seitenhälften, sondern auch obere und untere eine asymmetrische Bildung besitzen, indem die inneren und oberen Ränder der Cornea deutlich gerundet erscheinen, während die äusseren und unteren dafür einen elliptischen Contour zeigen. Beim Rochen ist der obere Rand sogar leicht geschweift, so dass die Gestalt der Cornea fast nierenförmig wird.

Dass die hier hervorgehobenen Eigenthümlichkeiten nicht bloss auf die äussere Form der Cornea sich beschränken, sondern auch in den Krümmungsverhältnissen einen Ausdruck finden, indem mit dem verticalen Durchmesser

zugleich auch der Radius der Fläche in verticaler Richtung kleiner wird, liegt auf der Hand, ist aber bis jetzt bei den Thieren meines Wissens noch nicht Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen.

Zum Schlusse erwähnen wir noch der sonderbaren Cornea des Anableps tetrophthalmus, die von einem undurchsichtigen Streifen durchzogen und in zwei über einander liegende Abschnitte getheilt ist, von denen der obere den unteren durch seine Grösse übertrifft. Obwohl ein jeder dieser Abschnitte eine selbstständige Erhebung darstellt, bilden beide doch (nach Sömmering) zusammen nur eine einzige fast kreisrunde Cornea, wie das nicht bloss der ihnen beiden gemeinschaftliche Aussenrand und die gleichmässige Bildung der Innenfläche nachweist, sondern auch der Umstand, dass der trennende Streifen bei jugendlichen Exemplaren noch fast durchsichtig ist und auch sonst nur wenig sich abhebt. Vielleicht, dass diese Entwicklungsweise auf eine Theilnahme mehr der Conjunctiva, als der Cornea an der hier geschilderten Bildung hinweist.

3. Choroidea mit Corpus ciliare und Iris.

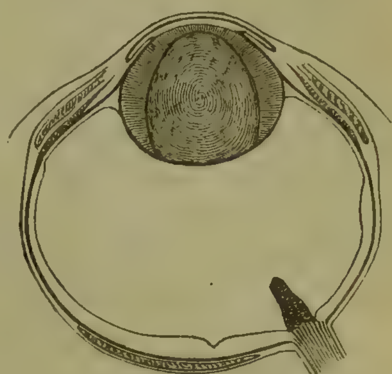
(Tapetum, Pecten, Processus falciformis, Ligamentum pectinatum.)

Erdl, Disquisitiones de glandula choroideali. Monachi 1839.
J. Müller, Vergleichende Anatomie des Gefässsystemes der Myxinoiden. Abhandlungen der Berliner Akademie 1843 oder Archiv für Anatomie und Physiologie 1840. S. 101—126.
Leber, Anatomische Untersuchungen über die Blutgefässe des menschlichen Auges. Wien 1865.
Hassenstein, De luce e quorundam animal. oculis prodeunte et de tapeto lucido. Jenae 1836.
Brücke, Anatomische Untersuchungen über die sog. leuchtenden Augen bei den Wirbelthieren. Müller's Archiv 1845. S. 387, 406.
——, Ueber den Musculus Cramptonianus und über den Spannmuskel der Chorioidea. Ebendaselbst 1846. S. 370.
Dogiel, Ueber den Musc. dilatator pupillae. Arch. microsc. Anat. 1870. Bd. VI. S. 69.
Flemming, Ueber den Ciliarmuskel der Haussäugethiere. Archiv für mikroscop. Anat. 1868. Bd. IV. S. 353 ff.
Iwanoff und Rollet, Bemerkungen zur Anatomie der Irisanheftung und des Annulus ciliaris. Archiv für Ophthalmologie Bd. XV. Th. 1. S. 17.
H. Müller, Ueber den Accommodationsapparat der Vögel. Arch. f. Ophthalmolog. Bd. III. S. 25. (Ges. Schrift. I. S. 180.)
Huschke, Commentatio de pectinis in oculi avium potestate. Jenae 1827.
Michalkovics, Untersuchungen über den Kamm des Vogelauges. Archiv für mikroscop. Anatomie. 1873. Bd. IX. S. 591—597.
Leydig, Beiträge zur mikroscop. Anatomie und Entwicklungsgeschichte der Rochen und Haie. Leipzig 1852. S. 26. (Sichelfortsatz.)
Manz, Ueber den wahrscheinlichen Accommodationsapparat des Fischauges. Untersuchungen zur Ichthyologie von Ecker. Freiburg 1857. S. 17—23.

§ 33. Die Innenfläche der Sklera wird bei allen Wirbelthieren von einer gefässreichen dünnen Membran überzogen, die durch eingelagerte Pigmentzellen eine dunkle Färbung bekommt und nach den zunächst hervorstechenden Charakteren mit dem Namen der Gefäss- oder Pigmenthaut bezeichnet wird. Es ist dieselbe Haut, für die wir oben (§ 24) einen Zusammenhang mit dem pialen

Neurilemm des Opticus in Anspruch genommen haben. Wie hiernach nicht anders zu erwarten, besitzt die Gefässhaut in der Tiefe des Augengrundes ein Loch, durch das die Sehnervenmasse hindurchtritt, um sich dann ihrerseits, zur Netzhaut entfaltet, auf der Innenfläche derselben auszubreiten. Die Gefässhaut ist also zwischen Netzhaut und Sklera eingeschoben und steht mit beiden in enger Verbindung. Nach vorn jedoch überragt sie die Netzhaut, indem sie bis zum Rande des Verbindungstheiles, also bis zur Hornhaut, fortzieht. Und selbst hier erreicht sie noch nicht ihr Ende, sondern verlängert sich in einen ringförmigen Vorhang (die sog. Regenbogenhaut oder Iris), der unter mehr oder minder grossem Winkel von der Augenwand abbiegt und über die äussere Randfläche der Linse hinaus frei in den vordern Augenraum hineinhängt. Durch das in der Mitte dieses diaphragmaartigen Vorhanges bleibende Loch, die sog. Pupille, sieht man auf das dunkle Pigment der Gefässhaut, von dem die meist sehr lebhaft auf der Vorderfläche gefärbte Iris gewöhnlich auf das Grellste absticht.

Fig. 37.



Auge des Chamäleon mit Sklera, Choroidea und Retina.

Soweit die Gefässhaut dem Verbindungstheile aufliegt, trägt sie den Namen des Strahlenkörpers, *Corpus ciliare*, der für die höheren Wirbelthiere recht bezeichnend ist, da sich die Gefässhaut derselben an der betreffenden Stelle in zahlreiche mehr oder minder stark prominirende Radiärfalten zusammenlegt, für die Fische aber nicht passt, weil die Faltungen hier entweder gänzlich fehlen oder doch weniger regelmässig entwickelt sind. Ueberdiess reicht bei vielen Fischen, besonders Knochenfischen, die Retina so weit gegen die Iriswurzel empor, dass man oftmals kaum — bei den Petromyzonten gar nicht — von einem besonderen Strahlenkörper sprechen kann. Es harmonirt das mit der rudimentären Entwicklung des Verbindungstheiles (S. 189), dessen Bildung auch sonst mit der Grösse und Gestalt des Strahlenkörpers in Uebereinstimmung ist. Im Allgemeinen stellt letzterer einen ring- oder trichterförmigen mehr oder minder breiten Gürtel dar, der hinter der Iris um die Linse herumgreift (Fig. 19, 20, 21, 22 u. a.) und in Verbindung mit der Zonula ciliaris zur Befestigung derselben beiträgt.

Fig. 38.



Aequatorialschnitt des menschlichen Bulbus, von Innen gesehen, mit Strahlenkranz (*Pc*) ein Umkreis der Iris. (Nach Merkel.)

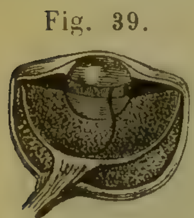
Mit der anliegenden Augenwand ist der vordere Rand des Strahlenkörpers oder, wenn dieser fehlen sollte, der vordere Rand der Choroidea in einem ungewöhnlich festen, wenngleich oftmals — durch Einschaltung des sog. *Canalis Fontanae* — sehr eigenthümlichen Zusammenhange. Da gleichzeitig auch die Substanz des Strahlenkörpers oder des vorderen Choroidealrandes nicht unbeträchtlich verdickt ist, so sprach man, besonders in früherer Zeit, häufig von einem besonderen *Ligamentum ciliare*, das zur Verbindung mit der Sklera dienen sollte. Heute wissen wir, dass diese Verdickung bei den höheren Wirbelthieren zum grössten Theile von einem Muskelapparate herrührt, der in die Substanz des Strahlenkörpers eingelagert ist und bei der Accommodation des Auges eine grosse

Rolle spielt. Wir werden die verschiedene Bildung dieses Ciliarmuskels später noch besonders kennen lernen und erwähnen hier einstweilen nur so viel, dass er den Fischen allem Anschein nach vollständig abgeht.

Wenn wir von der eben erwähnten Verbindung absehen, dann ist die Choroidea mit der unterliegenden Sklera bis auf die Umgebung des Sehnerveneintrittes in einem nur lockeren Zusammenhange. Wie wir durch Schwalbe erfahren haben, schiebt sich zwischen diese beiden Häute ein spaltförmiger Lymphraum ein, der bei den Vögeln nach Art der serösen Höhlen von zwei glatten Wänden begrenzt ist, sonst aber gewöhnlich von zahlreichen Strängen und Bändern durchsetzt wird, die nicht selten zu einem förmlichen Maschengewebe (*Membrana suprachoroidea*) heranwachsen. Was von diesem Gewebe beim Abziehen der Gefässhaut auf der Sklera sitzen bleibt, wird gewöhnlich unter den Namen der *Lamina fusca* zusammengefasst.

Wenn wir die Choroidea oben als eine dünne Haut bezeichneten, so hatten wir dabei zunächst nur die gewöhnlichen Verhältnisse im Auge. Bei der Mehrzahl der Thiere, selbst der grössten, bleibt die Dicke derselben (mit Ausschluss freilich des Strahlenkörpers resp. des *Ligamentum ciliare*) unter 0,5 Mm. Nur bei den Knochenfischen verhält es sich anders, weil hier die Gefässe der Choroidea im Augengrunde zu einem mächtigen Wundernetze werden, das sich wie ein schwammiges Polster in die Substanz derselben einschiebt und ein Gebilde darstellt, welches man lange Zeit hindurch als einen Muskel oder eine Drüse (*Glandula choroidealis*) beschrieben hat. Auch bei dem Seehund und dem Walfisch erreicht die Choroidea die ungewöhnliche Stärke von 1 und resp. 1,5 Mm. (Eschricht), wobei jedoch zu bemerken ist, dass nach vorn zu eine sehr beträchtliche Dickenabnahme, beim Walfisch bis auf 0,7 Mm., stattfindet.

Fig. 39.



Hechtauge im Längsschnitt, mit *Glandula choroidealis* zwischen Sklera u. Retina.

Die Grundlage der Gefässhaut besteht aus einer Bindesubstanz, die sich von der der anliegenden Sklera durch eine im Allgemeinen sehr viel zartere Beschaffenheit unterscheidet. Die Fibrillenzüge werden feiner und treten zurück, besonders in den tieferen Schichten, während dagegen die structurlose Zwischensubstanz sich vermehrt und zahlreiche farblose sogut, wie pigmentirte Zellen in sich einschliesst. In vielen Fällen sind die Fibrillen scharf gezeichnet und von derber Beschaffenheit, nicht selten netzförmig unter sich in Verbindung. Im Vergleich mit den Einlagerungen, besonders auch den zahllosen grösseren und kleineren Gefässen, spielt diese Grundsubstanz übrigens eine nur untergeordnete Rolle, so dass sie vielfach bloss als Bindemittel in Betracht kommt oder zum Ausfüllen der Lücken dient, die zwischen den Gefässen bleiben.

In Bezug auf die Anordnung dieser Gefässe gilt als Gesetz, dass die grösseren derselben, Arterien wie Venen, eine mehr oberflächliche d. h. äusserliche Lage haben. Das reiche Capillarnetz der Choroidea gehört ausschliesslich der inneren Schicht an, die eine nahezu homogene Beschaffenheit besitzt (*Membrana choriocapillaris* Eschricht) und auf der scharf begrenzten freien Fläche, die der Retina zugekehrt ist, epitheliumartig von einer Lage sechseckiger Pigmentzellen überzogen wird. Die Zellen sind bei den höheren Wirbelthieren, besonders den Säugethieren, ziemlich platt, bei den übrigen aber von beträchtlicher Höhe, so dass die Retinastäbchen, die sich überall in die Oberfläche derselben einsenken,

hier von förmlichen sog. Pigmentscheiden umfasst werden (Fig. 45 auf S. 424 Th. I). Der Zusammenhang der Pigmentlagen mit den Retinalzapfen ist ein so inniger, dass beide auch dann gewöhnlich mit einander verbunden bleiben, wenn man die Choroidea von der Retina ablöst. Von den meisten jetzigen Forschern wird die betreffende Pigmentlage deshalb denn auch der Retina zugerechnet und das allem Anschein nach mit um so grösserem Rechte, als dieselbe mit der Netzhaut zusammen aus der sog. primitiven Augenblase hervorgeht.

Ausser den Pigmentzellen und Gefässen sind (mit Ausnahme, wie es scheint, der Fische) auch Muskelfasern in die Choroidea eingelagert, bei den Vögeln und beschuppten Amphibien sogar Muskelfasern mit Querstreifung, wie sie sonst bloss an den willkürlich beweglichen Körpertheilen gefunden werden. Sie dienen den Accommodationsvorgängen des Auges und werden in dem oben erwähnten *Ligamentum ciliare* durch massenhafte Anhäufung zu dem sog. *Musculus ciliaris.*

§ 34. Obwohl die Gefässhaut mit allen ihren Theilen eigentlich nur ein einziges zusammenhängendes Gebilde darstellt, so hat man daran doch nicht bloss eine Anzahl von Abschnitten (Choroidea s. st., *Corpus ciliare* mit dem zugehörigen sog. Ligament, Iris) unterschieden, die in der Längsrichtung des Auges auf einander folgen und je durch gewisse Eigenthümlichkeiten des Baues und der Function ausgezeichnet sind, sondern vielfach auch den Versuch gemacht, die einzelnen Schichten derselben aus einander zu halten und als verschiedene Bildungen zu betrachten. Doch schon die abweichende Benennung und Begrenzung dieser Schichten zeigt zur Genüge, dass dieselben nur wenig scharf von einander geschieden sind. Was zur Aufstellung derselben Veranlassung gegeben hat, ist eigentlich nur die Thatsache, dass die Einlagerungen der Choroidea in der Richtung von Aussen nach Innen mehr oder minder auffallend von einander abweichen. In den äusseren Schichten, die der Sklera anliegen, enthält die Choroidea gewöhnlich eine mehr oder weniger reichliche Menge ramificirter platter Pigmentzellen, wie sie gelegentlich auch in der Bindesubstanz der Sklera selbst gefunden werden. Es ist vornehmlich die *Lamina suprachoroidea*, die sich auf diese Weise auszeichnet. Aber es giebt Fälle, in denen die Pigmentzellen dieser Schicht nur ausserordentlich spärlich sind, auch wohl gänzlich fehlen, oder der sonst so charakteristischen langen und stabförmigen Ausläufer entbehren. So ist es z. B. bei der Mehrzahl der Knochenfische, so auch unter den höheren Thieren bei dem Canarienvogel (Wittich) und dem Delphin, dessen spärliche Pigmentzellen eine höchstens kolbige Form haben. Bei den Knochenfischen sind bisweilen auch (z. B. beim Lachs) ansehnliche Fettmassen in diese Aussenschicht abgelagert. Auch die mittlere Schicht der Choroidea, die durch das Auftreten der grossen Gefässe und deren mehr oder minder wundernetzartige Verästelungen charakterisirt ist, enthält meist Pigmentzellen, besonders in der Tiefe des Auges, und unter Umständen sogar weit massenhafter, als sie in den äusseren Lagen gefunden werden. Da diese Pigmentzellen überdiess mit denen der *Lamina fusca* gewöhnlich in ihrer Form übereinstimmen, so wird es schwer, die beiden Schichten gehörig aus einander zu halten. Nur bei den Knochenfischen ist diese Trennung eine ganz scharfe, indem sich zwischen die beiden Schichten hier fast überall (ausgenommen ist z. B. Argyropelecus) noch die sog. Argentea einschiebt, eine sehr sonderbar gebaute, histo-

logisch scharf begrenzte Platte, die aus einer Anhäufung zahlloser irisirender Krystalle besteht, wie sie auch sonst bei den Fischen in der Haut, dem Peritonaeum u. a. a. Orten vorkommen, überall den bekannten Silberglanz bedingend, der diese Gebilde auszeichnet. Dass die Choroidea in letzterer Beziehung keine Ausnahme macht, beweist schon die Bezeichung Argentea. Man braucht nur die Sklera zu entfernen, um das Auge der Knochenfische in dem prächtigsten metallischen Schimmer, wie mit Gold oder Silber überzogen, erglänzen zu sehen.

Die Krystalle ergeben sich bei mikroscopischer Untersuchung als stabförmige, schlanke Plättchen mit abgestutzten Enden, bei den einzelnen Arten von sehr verschiedener Länge und Breite. Sie bestehen vorwaltend aus einer organischen Substanz, die nach den neuesten darüber vorliegenden Untersuchungen Voit's [1]) — frühere Analysen lieferten mehrfach abweichende Resultate — mit Guanin identisch ist, zugleich aber Spuren von Kalk enthält.

Uebrigens sind diese Krystalle nicht etwa regellos durch einander gewürfelt, sondern zu Gruppen vereinigt, in denen sie eine ziemlich parallele Anordnung einhalten. Dabei wechselt aber die Richtung der Stäbchen in den benachbarten Gruppen gewöhnlich der Art, dass dieselben unter spitzem Winkel sich kreuzen.

Obwohl ich mich von der Anwesenheit einer Umhüllungshaut nirgends mit Sicherheit überzeugen konnte, trage ich doch kein Bedenken, die einzelnen Gruppen, die je nach der Länge der Krystalle eine verschiedene Grösse (bis zu 0,08 Mm.) haben, auf Zellen zurück zu führen, in denen erst nachträglich die Krystalle ausgeschieden wurden. Die Argentea hat also wahrscheinlicher Weise einen Zellenbau. Ob man sie deshalb freilich, wie von manchen Seiten geschehen ist, als Analogon der *Lamina fusca* betrachten darf, steht dahin. Meiner Ansicht nach ist eine solche Zusammenstellung unzulässig, nicht bloss wegen der specifischen Bildung der Argentea, sondern namentlich auch deshalb, weil dieselbe auf ihrer Aussenfläche noch gewöhnlich mit genuinen Pigmentzellen ausgestattet ist, die doch weit eher den Zellen der *Lamina fusca* gleichstehen dürften. Hier und da drängen sich übrigens diese Pigmentzellen (z. B. beim Barsche) auch zwischen die Krystallmassen der Argentea hinein in die Tiefe.

Ausschliesslich aus vielfach verschränkten stabförmigen Krystallen zusammengesetzt, hat die Argentea natürlich eine steife und feste Beschaffenheit, die namentlich in denjenigen Fällen auffällt, in denen sie eine beträchtlichere Dicke besitzt. Auf Meridionalschnitten erscheint sie bei durchfallendem Lichte als ein undurchsichtiger schwarzer Streifen, der nur selten unterbrochen ist und sich aus der Tiefe des Auges bis in den freien Rand der Iris hinein fortsetzt. In der Iris erreicht dieselbe in der Regel sogar eine noch grössere Dicke (Fig. 32). Mit nur spärlichen Pigmentzellen überdeckt, giebt sie durch ihre oberflächliche Lage der Iris die bei den Knochenfischen zur Genüge bekannte metallische Färbung.

Je spärlicher übrigens die Aussenfläche der Argentea mit Pigment überlagert ist, desto massenhafter entwickelt sich dasselbe auf der Innenfläche. Es sind namentlich die inneren Lagen der Choroidea, die davon durchzogen werden, so

1) Siebold, Süsswasserfische von Mitteleuropa. Leipzig 1863. S. 158.

reichlich, dass sie gewöhnlich eine gleichmässig schwarze Färbung besitzen. Am deutlichsten erkennt man das im Hintergrunde des Auges, wo diese pigmentirten Schichten die sog. *Glandula choroidealis* überlagern, die nur vereinzelte Pigmentzellen in sich einschliesst.

Abweichend von den meist stark verästelten Pigmentzellen der höheren Thiere, haben übrigens diese Gebilde bei den Fischen gewöhnlich eine viel regelmässigere Bildung. Ihrer Mehrzahl nach erscheinen sie als sechseckige Plättchen, die in mehr oder minder grosser Menge flächenhaft neben einander lagern, nur durch schmale helle Säume geschieden. An einzelnen Stellen werden die Säume durch Ausbuchtung und Erweiterung zu kleineren oder grösseren Lückenräumen, die den Zellen dann ein mehr oder minder gezacktes Aussehen geben. Da solche abweichende Formen nicht selten ganz vereinzelt angetroffen werden, liegt die Vermuthung nahe, dass die Pigmentzellen der Choroidea bei den Knochenfischen dieselbe Fähigkeit der Contractilität besitzen, die wir schon seit längerer Zeit an den Pigmentzellen der Haut bei denselben (durch Siebold) kennen gelernt haben. Am weitesten nach Innen trifft man (Hecht) auf netzförmig verbundene Zellen von ausserordentlich wechselnder unregelmässiger Gestaltung.

Die hier geschilderten Pigmentlagen sind durch Bindesubstanz und Blutgefässe vielfach unterbrochen, decken trotzdem aber die Argentea so vollständig, dass diese nirgends bei den (gewöhnlichen) Knochenfischen nach Innen durchschimmert. Auf den eigentlichen Sehact kann die Argentea also trotz ihrer hervorstechenden Eigenschaften eben so wenig einen Einfluss ausüben, wie das glänzende Aussehen des Tubus bei unsern Mikroscopen. Die Ablagerung der Guaninkrystalle in die Aussenfläche der Choroidea hat demnach kaum einen anderen Werth, als das Vorkommen derselben in dem Peritonaeum. Sie hat voraussichtlich mehr Bezug auf die allgemeinen Vorgänge der Ernährung und Ausscheidung [1]), als auf die specifischen Functionen des Auges.

§ 35. Ganz anders verhält es sich aber in dieser Beziehung mit dem silberglänzenden Ueberzuge, der den Augengrund zahlreicher Rochen und Haifische bekleidet und (nach Brücke) auch bei dem Stör und einigen Knochenfischen gefunden wird, in schönster Entwicklung namentlich bei dem ob der Grösse seiner Augen schon oben erwähnten Pomatomus telescopium, der niemals aus den dunklen Tiefen des Meeres emporsteigt. Die sonst tief schwarze innere Aussenfläche sehen wir zu unserer Ueberraschung hier ganz von der Beschaffenheit eines metallenen Hohlspiegels! Höchstens dass der Glanz durch das (besonders nach Vorn) aus der Unterlage hindurchschimmernde dunkle Choroidealpigment in Etwas abgeschwächt ist.

Der Metallschimmer rührt auch in diesem Falle, wie zuerst durch delle Chiaje festgestellt worden ist, von mikroscopischen Krystallen (Ophthalmolithen delle Chiaje) her, die nicht bloss in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften

---

1) Es dürfte nicht unpassend sein, bei dieser Gelegenheit an die von Frerichs und Städeler festgestellte Thatsache zu erinnern, dass das Fischfleisch, wenigstens das der Selachier, reichlich mit Harnverbindungen imprägnirt ist. Journal f. practische Chemie. 1858. Bd. 73. S. 48.

mit den Einlagerungen der Argentea übereinstimmen, sondern wie diese auch, gewöhnlich sogar weit deutlicher, in besonderen grossen Zellen (bis fast 0,1 Mm.) enthalten sind.

Das Tapetum — so wird dieser Belag schon von DELLE CHIAJE bezeichnet — hat bei den Fischen also denselben Bau, den wir der Argentea oben vindicirt haben. Aber es unterscheidet sich durch seine Lage nicht hinter, sondern vor dem Choroidealpigmente. Und dieser Unterschied ist um so auffallender, als gleichzeitig auch die mit den Retinalstäbchen zusammenhängenden Zellen hier des Pigmentes entbehren. Dasselbe gilt von der Capillarschicht der Choroidea, die zwischen diesen Zellen und dem Tapetum hinzieht, also keineswegs, wie man vielleicht vermuthen könnte, hinter dem Tapetum liegt, wo nur die gröberen Choroidealgefässe (bei den Knorpelfischen bekanntlich ohne das drüsenartige Wundernetz) gefunden werden. Der Pigmentmangel dieser Schichten ist übrigens nicht in allen Fällen ganz vollständig. Der Stör z. B. zeigt an einzelnen Stellen seines Tapetum eine reiche Pigmentirung in den Zellenscheiden der Retinalzapfen und bei Prionurus, einem Knochenfisch mit schwachem Tapetum, enthält das Auge sogar ziemlich viel Pigment in der *Membr. choriocapillaris.*

Unter solchen Umständen erscheint es denn auch zweifelhaft, ob das Tapetum von der gewöhnlichen Argentea nach seinem morphologischen Werthe eben so verschieden ist, wie in physiologischer Hinsicht. Die Untersuchung tapetirter Knochenfische wird hier vielleicht am sichersten entscheiden. Vielleicht, dass der ganze Unterschied zwischen Argentea und Tapetum auf einer verschiedenen Lage der Pigmentschicht beruht, indem dieselbe das eine Mal vor, das andere Mal aber hinter der Guaninschicht zur Entwicklung gekommen ist.

Die Fische sind übrigens nicht die einzigen Wirbelthiere, deren Choroidea mit einem Tapetum ausgestattet ist. Bei den Amphibien und Vögeln scheint dasselbe freilich zu fehlen oder doch nur sehr vereinzelt vorzukommen (so soll es nach SCHRÖDER VAN DER KOLK und VROLICK z. B. beim Strausse vorhanden sein), aber unter den Säugethieren hat es eine weite Verbreitung. Es findet sich hier nicht bloss bei den Raubthieren, Wiederkäuern und Beutelthieren, so viele deren bis jetzt untersucht wurden, sondern auch bei dem Pferde, dem Elephanten und den fleischfressenden Cetaceen. Die Entwicklung desselben zeigt allerdings mancherlei Unterschiede. Während es sich bei den Robben, Delphinen, Walen, wie bei den Fischen über den ganzen Augengrund bis zum *Corpus ciliare* ausdehnt, beschränkt es sich bei der Mehrzahl der Säugethiere auf die Tiefe des Augengrundes, besonders jene Zone, die sich oberhalb der Eintrittsstelle des Sehnerven nach Aussen hinzieht. Es ist dieselbe Zone, die wir als den Sitz des schärfsten (besonders binoculären) Sehens zu betrachten das Recht haben, auch früher schon durch mancherlei andere anatomische Eigenthümlichkeiten ausgezeichnet fanden.

Die Anwesenheit dieses Tapetum verräth sich schon beim lebenden Thiere durch das bekannte Phänomen der leuchtenden Augen, das natürlich nur von den durch dieses Gebilde reflectirten und gesammelten Lichtstrahlen herrührt.

In dem geöffneten Auge ercheint das Tapetum der Säugethiere als eine Fläche von metallisch glänzendem, oft auch stark irisirendem Aussehen, jedoch ohne jenen hervorstechenden Silberglanz, der bei den Fischen vorherrscht. Der Unterschied erklärt sich durch die Eigenthümlichkeiten der histologischen Structur. Denn

wenn auch das Tapetum der Säugethiere überall noch eine besondere, von den gewöhnlichen Einlagerungen der Choroidea verschiedene Bildung darstellt, sogar bei den Raubthieren (mit Einschluss der Robben) noch einen evidenten Zellenbau hat, so fehlen doch überall die für das Tapetum der Fische so charakteristischen Krystalle von Guaninkalk. Bei den reissenden Thieren lagern sich allerdings bisweilen in das Tapetum mehr oder minder grosse Massen von Kalksalzen ab, so dass es gelegentlich völlig weiss und wie mit Kreide überzogen aussieht, allein diese Ablagerungen sind weder constant, noch auch für die bunten Farben des Tapetum bestimmend, indem die letzteren lediglich von den Tapetalzellen, welche die Form von dünnen Plättchen haben, durch Lichtinterferenz erzeugt werden. Die Grösse dieser Plättchen ist übrigens beträchtlich geringer, als die der krystallhaltigen Zellen. Sie hat vielleicht nur den vierten Theil der oben erwähnten Durchmesser. Freilich muss dabei bemerkt werden, dass ihre Form, wenngleich im Allgemeinen sechseckig, doch mehrfach wechselt, sich besonders häufig in die Länge streckt und das nicht bloss bei verschiedenen Thieren, sondern gelegentlich selbst in demselben Tapetum. Bei durchfallendem Lichte hat der Inhalt eine feinkörnige Beschaffenheit und eine gelbliche Farbe. Da der Kern überdiess eine relativ nur geringe Grösse besitzt, so ergeben sich Anhaltspuncte genug, die Tapetalzellen von den übrigen Zellenbildungen der Choroidea zu unterscheiden.

Im Gegensatze zu diesem *Tapetum cellulosum* der Raubthiere besitzen die übrigen Säugethiere, auch die räuberischen Beutler und Delphine, ein sog. *Tapetum fibrosum*, ein Tapetum also, das aus Fasern besteht. Dieselben verlaufen im Allgemeinen der Quere nach, wobei sie die Hauptrichtung der grösseren Gefässe, denen sie aufliegen, unter rechtem Winkel kreuzen, sind wellig gekrümmt, glatt und fein, aber scharf begrenzt, zu Interferenzphänomenen also sehr geeignet. Die Schicht, die sie bilden, ist in der Mitte ziemlich dick, so dass sie sich leicht von der unterliegenden Choroidea abtrennt, wird aber nach dem Rande zu allmählich dünner und schwieriger zu isoliren. Mit dieser verschiedenen Dicke hängt es auch zusammen, dass die Farben des Tapetum nach der Mitte zu von Blau durch Grün fortschreiten.

Selbst gefässlos, wird das Tapetum von einer Anzahl kleiner Stämmchen durchbrochen, die sich mit ihren Zweigen vor demselben in der pigmentlosen Aussenschicht der Choroidea verbreiten. Auch die epithelartig darüber hinziehenden Zellen der sog. *Lamina pigmenti* entbehren des Pigmentes, doch findet man bei dem Schöpse und häufiger noch dem Kalbe, wohl auch bei anderen hierher gehörenden Thieren, nicht blos am Rande des Tapetum, sondern auch auf der Fläche desselben gewöhnlich einzelne, schon mit blossem Auge wahrnehmbare Stellen, deren Zellen mit einer mässigen Menge körnigen Pigmentes gefüllt sind.

Die Anwesenheit einer reflectirenden Haut in dem sonst nur mit dunklen, das Licht absorbirenden Pigmenten ausgekleideten Auge und namentlich deren Anwesenheit gerade hinter denjenigen Stellen der Retina, die am meisten zum Sehen gebraucht werden, scheint auf den ersten Blick eine nichts weniger als zweckmässige Einrichtung darzustellen. Das von derselben zurückgeworfene Licht, so wird man vermuthen, muss nicht blos die Lichtstärke des Retinalbildes

abschwächen, sondern unter Umständen sogar, auf andere Puncte der Netzhaut geworfen, eine förmliche Confusion der Gesichtseindrücke zur Folge haben. Doch keine dieser Annahmen ergiebt sich bei näherer Ueberlegung als zutreffend. Da die den Sinneseindruck vermittelnden Retinalstäbchen, gegen deren Ende zunächst das Licht reflectirt wird, aus einer Substanz bestehen, welche ein starkes Brechungsvermögen besitzt und jedenfalls ein stärkeres, als die in dünner Schicht sie umhüllende Zwischensubstanz, so müssen die reflectirten Strahlen immer wieder dasselbe Stäbchen durchsetzen, durch welches sie einfielen. Allerdings werden auch die Seitenflächen des Stäbchens von den reflectirten Strahlen getroffen, allein diese werden das auf sie fallende Licht — ausgenommen den hier kaum in Betracht kommenden Fall einer stärkeren Ablenkung von der Achsenrichtung — in die schwächer brechende Zwischensubstanz nicht eindringen lassen, sondern ihrerseits gleichfalls reflectiren, so dass ein Uebergang in die anliegenden Stäbchen nicht stattfindet. Das Retinalstäbchen wird bei den Thieren mit Tapetum also nicht ein Mal, wie bei den Thieren mit schwarzer Choroidea, sondern zwei Mal von demselben Lichtstrahl getroffen, es wird doppelt gereizt und kann deshalb denn auch noch dann eine Lichtempfindung vermitteln, wenn andere Thiere mit gleich reizbarer Retina, aber ohne Tapetum, nicht mehr reagiren oder, mit anderen Worten, sich bereits im Dunkeln befinden.[1])

Die tapetirten Thiere eignen sich vermöge ihres Tapetum also vornehmlich für ein Sehen in der Dämmerung. Wenn trotzdem nicht alle Nachtthiere mit einem Tapetum versehen sind, vielmehr viele (Eulen, Fledermäuse, Mäuse, Halbaffen) desselben entbehren, so erklärt sich das möglicherweise durch die Annahme, dass die Nervenhaut in solchen Fällen eine grössere Reizbarkeit besitzt und schon von einem einmaligen Durchgang des Lichtes, auch wenn dieses nur schwach ist, hinreichend afficirt wird. Ebensowenig folgt aus unserer Behauptung, dass die Thiere mit Tapetum ausschliesslich in der Dämmerung zu sehen im Stande wären. Im Besitze einer stark contractilen Iris, wie wir sie bei den hier allein in Betracht kommenden Landsäugethieren finden, werden sie im Hellen das Licht durch Verengerung der Pupille in einem solchen Grade abzuschwächen im Stande sein, dass auch bei Tage ein Sehen möglich wird.

Nur in einem Falle würde die Anwesenheit des Tapetum störend auf die Gesichtsperceptionen einwirken, dann nämlich, wenn der Strahlenkranz und die Innenfläche der Iris, wie wir es bei den Albinos sehen, des Pigmentes entbehrten. In diesem Falle würden die durch das Tapetum reflectirten Lichtstrahlen, so weit sie auf ihrem Wege nach Aussen nicht durch die Pupille hindurchfallen, von den genannten Organen nach allen Richtungen hin zurückgeworfen werden und völlig ungeordnet wieder auf die Netzhaut zurückkehren. Aber ein solcher Fall tritt für gewöhnlich nicht ein, indem sämmtliche Thiere, auch die ohne Tapetum, im Normalzustande an der Hinterfläche der Iris und am Strahlenkörper eine tief

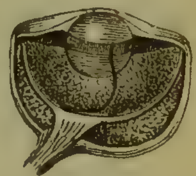
1) Vgl. Brücke, Archiv für Anatomie und Physiologie. 1844. S. 453; Helmholtz, Physiol. Optik. S. 167 und 189. (Die hier ausgesprochene Ansicht hat dadurch nicht an Bedeutung verloren, dass wir in den Retinalstäbchen heute die percipirenden Endorgane selbst kennen gelernt haben, während Brücke und Helmholtz darin nur einen katoptrischen Apparat sahen, der die Strahlen auf die lichtempfindende Nervensubstanz reflectire.)

schwarze Pigmentlage besitzen, die alles Licht verschluckt, welches aus dem Hintergrunde des Auges auf sie reflectirt wird.

Die durch die Pupille nach Aussen gelangenden Lichtstrahlen haben natürlich vorher die Linse passirt und sind durch diese zu einem Lichtkegel vereinigt, der trotz der Ablenkung, welche die Strahlen beim Uebergange in den *Humor aqueus* und aus diesem (bei den Landthieren) in die Luft erleiden, immer noch ausreicht, nicht bloss die Augen leuchten zu lassen, sondern auch die in den Kegel eintretenden Gegenstände selbst zu erhellen und auf diese Weise bestimmter zur Anschauung zu bringen, als es sonst möglich sein würde (Treviranus).

§ 36. Kaum weniger auffallend als die Anwesenheit dieses Tapetum ist das oben erwähnte Vorkommen der sogenannten Choroidealdrüse bei den Knochenfischen, die uns nach Bau und Beziehungen eigentlich erst durch die Untersuchungen von J. Müller bekannt geworden ist, obwohl schon frühere Anatomen, besonders Albers und Erdl, darin ein Wundernetz erkannt hatten. Ein mehr oder minder wulstiger Körper von rother Farbe, ist dieselbe in der Tiefe des Augengrundes, neben der Eintrittsstelle des Sehnerven zwischen Argentea und Pigmentschicht in die Choroidea eingelagert. Grösse und Gestalt zeigt mancherlei Verschiedenheit. Bald hat sie das Aussehen eines Ringes, der den Sehnerv allseitig umfasst, bald ist sie mehr hufeisenförmig und dann nach der Eintrittsstelle des Sehnerven hin offen. Sie reicht aus der Tiefe des Auges mehr oder minder weit nach Vorn und besitzt nicht selten eine so ansehnliche Dicke, dass die Sklera buckelförmig von ihr aufgetrieben wird. In anderen Fällen ist sie freilich sehr unscheinbar, besonders bei Fischen mit kleinen Augen, und bei einzelnen derselben (Muraena, Silurus) überhaupt nicht mehr nachweisbar.

Fig. 40.



Durchschnitt des Hechtauges mit Choroidealdrüse im Augengrunde.

Sonderbarer Weise ist das Auftreten dieser Choroidealdrüse bei den Knochenfischen an die Existenz der sogenannten Nebenkieme gebunden, eines Organes, das bald offen, bald auch unter Haut (Hecht) und Muskel und Knochen (Cyprinus) versteckt im oberen Raume der Kiemenhöhle gefunden wird, unter Umständen also, die auf den ersten Blick keinerlei Beziehungen zu dem Auge darbieten. Erst bei näherer Untersuchung erkennt man, dass beide Gebilde in einem durch Gefässverbindung vermittelten Zusammenhange stehen. Die sog. *Arteria ophthalmica magna* nämlich, die das Wundernetz der Choroidealdrüse bildet, empfängt ihr Blut nicht direct aus dem arteriellen Gefässapparate des Kopfes (dem sog. *Circulus cephalicus*), der die übrigen Theile des Auges versieht (Muskeln, Sklera, Iris, *Nervus opticus*), sondern zunächst aus der Nebenkieme [1]), die übrigens gleichfalls nichts anderes als ein Wundernetz ist, das aus dem *Circulus cephalicus* gespeist wird.

---

1) In ähnlicher Weise wird auch bei den Plagiostomen und Stören die Spritzlochkieme mit dem Bulbus durch ein Gefäss verbunden, allein dasselbe ist nach Hyrtl und Demme venöser Natur und zum Ersatz für die *Vena ophthalmica* vorhanden, die als solche nur den Arten ohne Spritzlochkieme zukommt.

Das Blut, welches in die Choroidealdrüse eintritt, kommt also erst auf Umwegen in das Auge, nachdem es vorher das Wundernetz der Nebenkieme durchströmt hat. Die Bedeutung dieser Einrichtung ist uns unbekannt. Wir wissen nicht, ob es sich dabei um gewisse chemische Veränderungen handelt, die das Blut in der Nebenkieme erleidet, vielleicht eine nachträgliche abermalige Decarbonisirung, oder um eine durch den Widerstand der Capillaren erzeugte Verlangsamung der Blutbewegung, oder schliesslich gar um beides.

Das Wundernetz der Choroidealdrüse besteht aus einem arteriellen und venösen Theile, beide aus zahllosen dünnen Röhrchen gebildet, die in verticaler Richtung dicht neben einander hinlaufen und zu einer zusammenhängenden Masse unter sich vereinigt sind. Die arteriellen Röhrchen entstehen durch büschelförmigen Zerfall aus der oben erwähnten *Art. ophthalmica magna,* während die venösen Röhrchen ihr Blut in ein weites Becken ergiessen, das an der Basis des Wundernetzes gelegen ist und mit den Venen der Iris zusammen in die *Vena ophthalmica* einmündet. Ausserhalb des Auges nimmt diese Vene auch noch eine Anzahl kleiner Gefässzweige aus dem Sehnerven und den Augenmuskeln auf, so dass schliesslich das gesammte venöse Blut des Auges auf demselben Wege der Jugularis zuströmt.

Die arteriellen und venösen Röhrchen des Wundernetzes stehen nun aber nicht direct unter sich im Zusammenhange, wie man vielleicht glauben könnte, sondern nur vermittelst der zwischen sie sich einschiebenden eigentlichen Choroidealgefässe. Die arteriellen Röhrchen sammeln sich nämlich, nachdem sie mit dichotomischen Verästelungen eine Strecke weit neben einander hingelaufen, zu einer Anzahl kleiner Stämmchen, die in die Pigmentlagen der Choroidea übertreten, dieselben mit ihren Zweigen in wesentlich meridionaler Richtung durchziehen, und schliesslich das dichte Netz der Choriocapillarmembran bilden, aus dem das Blut dann durch mehrere kleine Venenstämmchen in den venösen Theil des Wundernetzes zurückkehrt.

Dass die Iris ihr Blut auf einem andern Wege erhält, als die Choroidea, ist schon oben bemerkt worden. Auch die höheren Wirbelthiere zeigen bekanntlich dasselbe Verhalten, obwohl die anatomischen Unterschiede hier weniger auffallen. Ueberhaupt hat es den Anschein, als wenn die Anordnung der Blutgefässe im Auge der Wirbelthiere nach ihren wesentlichen Zügen so ziemlich überall die gleiche sei. Dabei wird es natürlich nicht an Abweichungen dieser oder jener Art fehlen, wenngleich darüber bis jetzt erst wenige Beobachtungen vorliegen. So wissen wir z. B. seit Hovius, dass die Wiederkäuer und Nager am hinteren Rande des Ciliarapparates einen *Circulus venosus* besitzen, der die vorderen Aeste der *Venae vorticosae* verbindet, dem Menschen aber abgeht. Bei den Seehunden erweitert sich (Eschricht) dieses venöse Ringgefäss zu einem ansehnlichen Canale, dessen Blut durch fünf starke Längensinus nach hinten abfliesst, durch Gefässe, die vielleicht die Stelle der sonst gewöhnlichen Vortexvenen vertreten. Auch bei dem Delphin sehe ich in der Ciliargegend ein sehr weites Ringgefäss.

§ 37. Der Strahlenkörper wird von der vordern Randzone der Choroidea gebildet, so weit diese dem sog. Verbindungstheile der Sclerotica aufliegt.

Je nach der Gestaltung dieses letzteren hat derselbe also bald die Form eines mehr oder minder steilen oder hohen Trichters, bald die eines mehr ebenen diaphragmaartigen Ringes, wie dies in den Extremen einerseits (Fig. 21 u. 20) bei der Eule und dem Luchse (Raubvogel und Raubthier), andererseits bei dem Walfisch (Fig. 27) und Haifisch beobachtet wird. Ebenso wiederholt der Strahlenkörper natürlich die Asymmetrie, die so vielfach zwischen dem Nasen- und Schläfentheile des Verbindungsstückes obwaltet und namentlich bei dem Bussard, der Eule (Fig. 21), dem Pferde (Fig. 19) sehr auffallend ist.

Mit dem Uebergange in den Strahlenkörper ändert übrigens die Choroidea in mehrfacher Beziehung ihre frühere Bildung. Die Schichtung in eine äussere und innere Gefässlage mit verschieden entwickelten Blutbahnen (*Membr. vasculosa* und *choriocapillaris*) geht verloren, indem die Gefässe ein mehr gleichartiges Kaliber annehmen und sich zu einem Maschenwerke mit vorwaltend meridionalen resp. radiären Zügen zusammengruppiren. Gleichzeitig entwickelt sich bei den höhern Wirbelthieren in der mit der Sklera verbundenen Aussenlage eine besondere Muskulatur, aus bald glatten, bald auch (bei Vögeln und Reptilien) quergestreiften Fasern bestehend, die ebenfalls ihrer Hauptmasse nach in meridionaler Richtung angeordnet sind. Nach Hinten läuft dieser sog. Ciliarmuskel immer mehr sich verdünnend in vereinzelte Faserzüge aus, die, dem Verlaufe der grösseren Gefässe folgend, in die eigentliche Choroidea übertreten und die mittlere Lage derselben durchziehen. Auf Längsschnitten erscheint die Muskelmasse als ein mehr oder minder heller Streifen, der sich oft ziemlich scharf gegen den tief schwarzen Belag des eigentlichen Strahlenkörpers absetzt. Die Innenfläche trägt eine structurlose Glashaut von ziemlicher Dicke, die mit dem anliegenden Cylinderepithel als eine Fortsetzung der Retina zu betrachten ist, deren Nervensubstanz mit scharfer Grenze am Hinterrande des Strahlenkörpers aufhört. Bei der Mehrzahl der Fische, auch einigen Amphibien, den Tritonen und Schlangen, die sich sammt und sonders durch eine geringe Tiefe des hintern Augenraumes auszeichnen, hat der Strahlenkörper ganz das gewöhnliche Aussehen der Choroidea, so dass man kaum eine Veranlassung haben würde, ihn davon zu unterscheiden, wenn er nicht des Retinalüberzuges entbehrte. Anders aber bei den übrigen Wirbelthieren, und namentlich den Warmblütern, deren Strahlenkörper in eine meist beträchtliche Anzahl meridionaler oder radiärer Falten sich erhebt, die nach Vorn immer höher werden und mehr oder minder weit nach Innen gegen die vordere Fläche des Glaskörpers und den Linsenrand vorspringen, sich auch mit Hülfe der sog. *Zonula ciliaris* damit gewöhnlich so fest verbinden, dass bei der Lösung ein Theil des Pigmentes an ihnen haften bleibt. Es ist übrigens immer nur die pigmentirte innere Gefässschicht mit der darauf liegenden Glashaut, die in die Bildung dieser Falten eingeht, während der Ciliarmuskel daran in keiner Weise sich betheiligt.

Fig. 41.



Ciliarkörper des Menschen in situ, von Hinten gesehen. *Pc* Processus ciliares, *Os* vordere Grenze der nervösen Netzhaut (Ora serrata.)

Unter den Fischen findet man einen solchen Strahlenkranz vornehmlich bei den grösseren Haien und den Stören. So berichtet Cuvier u. a. von Galeus, dass die Falten desselben fast so stark seien, wie die der Vögel, und so weit vorspringen, dass sie mit

ihrer vordern Spitze an die Linsenkapsel sich anlegen. Dasselbe bemerkt Leydig von Scymnus lichia, während er bei Sphyrna einen Strahlenkranz von geringerer Entwickelung vorfand. Bei Squalus acanthias lässt Sömmering nur die untern Falten an die Linsenkapsel herantreten. In dem Auge eines Hexanchus griseus, das ich vor mir habe, beschränkt sich die Faltung überhaupt nur auf die eine Hälfte des Strahlenkörpers, während die gegenüberliegende Hälfte dafür die Abdrücke grösserer Gefässe erkennen lässt, die eine ungewöhnliche seitlich symmetrische Anordnung besitzen. Die Falten selbst nehmen ungefähr in der Mitte der Fläche ihren Ursprung, und sind so dicht gedrängt, dass ihre Zahl auf mehrere Hundert zu veranschlagen sein dürfte. Sie verlaufen nach Vorn, erreichen aber nicht alle die gleiche Höhe und treten vielfach mit einander in Verbindung. Ebenso wird für den Thunfisch angegeben (Rudolphi), dass die Falten nicht im ganzen Umkreis gleich stark ausgebildet seien, auch nirgends an die Linse sich anlegten. Der Thunfisch ist übrigens der einzige Teleostier, bei dem ein Strahlenkranz mit Sicherheit bekannt ist. Treviranus will freilich auch bei dem Lachs einen solchen gefunden haben, doch sehe ich hier statt der Falten nur eine Körnelung, die an einzelnen Stellen eine etwas radiäre Gruppirung einhält.

Der Frosch zeigt auf seinem schmalen Strahlenkörper einen Kranz von etwa 70—80 kurzen halbmondförmigen Erhebungen, die in Form radiärer Falten auf die Innenfläche der Iris übergehen und erst in der Nähe des Pupillarrandes verstreichen. Die Eidechsen besitzen gleichfalls nur kurze Ciliarfalten, während die Krokodile dagegen mit zahlreichen langen Fortsätzen versehen sind, deren prominirende Spitzen an die Linsenkapsel sich anlegen. Bei dem Chamäleon (Fig. 14) beschreibt Müller an dem Strahlenkörper kleine warzige Unebenheiten und weiter vorn ganz schwache meridional gestellte Leistchen, welche kaum den Namen von Fortsätzen verdienen. Aehnlich sehe ich es bei der Seeschildkröte, deren Strahlenkranz sich aus etwa 50 plumpen und niedrigen Falten zusammensetzt, die von der Mitte der Fläche bis an die Iris sich hinziehen, hinten aber noch eine Anzahl kleiner Längsleisten zwischen sich nehmen. Die übrige Fläche des Strahlenkranzes ist mit punctförmigen Hervorragungen besetzt, die nach dem Strahlenkranze hin allmählich in Streifen sich ordnen und schliesslich in die Leistchen übergehen.

Zu einer sehr viel höheren Entwicklung gelangen diese Gebilde bei den Vögeln, wie man das schon aus der ansehnlicheren Grösse des Verbindungstheiles entnehmen kann. Die ganze Innenfläche desselben ist mit dicht gedrängten Falten besetzt, bei den grösseren Vögeln mit mehreren Hundert, die, an ihrem Ursprung nur niedrig, in Mitte der Fläche nicht unbeträchtlich sich erheben und schliesslich in eine mehr oder minder stark prominirende Spitze auslaufen, welche an die Linsenkapsel sich anlegt. Allerdings sind es nicht alle Falten, die diese Umbildung eingehen. Zwischen je zweien derselben bleiben meist vier oder fünf in ihrer früheren Beschaffenheit. Unverändert laufen dieselben eine mehr oder minder lange Strecke nach Vorn, bis sie schliesslich verstreichen oder mit den anliegenden höhern Fortsätzen zusammenfliessen. Immerhin aber beträgt die Zahl der letztern bei den grössern Vögeln noch mehr, als Hundert. Der freie Rand derselben enthält ein stärkeres venöses Gefäss, das durch fiederförmig aufsitzende Seitenzweige mit dem gegenüberliegenden Basalgefäss zusammenhängt. (Die Beschreibung entlehne ich der Trappe.) Eine eigenthüm-

liche Modification erleiden diese blattartigen Erhebungen bei den Raubvögeln dadurch, dass sich der freie Rand mit einer Doppelreihe kleiner Papillen besetzt, die je eine Gefässschlinge in sich einschliessen. Es ist besonders der vordere dem Linsenrande anliegende Abschnitt der Fortsätze, in dem diese Wärzchen zur Ausbildung kommen und (Fig. 28) zu einem dicht gedrängten Kamm sich zusammenordnen, der fest mit der Linsenkapsel verwächst und zur Aufnahme derselben einen bogenförmigen Ausschnitt hat. Auf diese Weise liegt der Linsenrand, wie schon Cuvier wusste, förmlich eingefasst in einer Rinne, die von den Ciliarfortsätzen gebildet ist. Am ausgesprochensten ist diese Anordnung bei den Eulen (Fig. 21), bei denen auch das die Linse nach Vorn überragende Ende der Ciliarfortsätze einen warzenförmigen Vorsprung bildet, während es sonst (auch schon bei den Tagraubvögeln) in eine platte Spitze ausläuft.

Die Säugethiere besitzen einen Strahlenkranz mit Fortsätzen, die im Allgemeinen (Fig. 19, 20) eine flügelförmige Gestalt haben und mittelst der vordern Ecke, die beim Seehunde eine förmliche kleine Saugplatte bildet, fest an die Linsenkapsel sich ansetzen. Die Zahl derselben ist eine verhältnissmässig geringe, da sie auch bei den grössern Arten nur selten über 70 hinausgeht — Eschricht zählte beim Seehund etwa 100, während der Walfisch nur etwa 70 hat, so viel, wie das Rind und der Mensch —, doch finden sich zwischen ihnen, besonders nach Hinten zu, sehr allgemein noch zahlreiche kleinere Falten, die an Menge freilich gleichfalls hinter den entsprechenden Bildungen der Vögel zurückbleiben. Am äussersten Rande des Strahlenkörpers haben alle diese Erhebungen, Falten und Fortsätze, genau dieselbe Beschaffenheit, so dass die letzteren sich also auch hier als stärker entwickelte, ausgewachsene Falten darstellen. Bei den grösseren Pflanzenfressern, besonders dem Rhinoceros und dem Pferde, so wie dem Walfische, besetzt sich der freie Rand der Fortsätze mit mehr oder minder zahlreichen Fältchen und Zacken, die je eine vielfach gewundene Gefässschlinge in sich einschliessen.

Bei der Frage nach der physiologischen Bedeutung des hier geschilderten Strahlenkranzes kommen allem Vermuthen nach übrigens nicht bloss und ausschliesslich die mechanischen Beziehungen in Betracht, welche die Fortsätze desselben zu den durchsichtigen Medien und namentlich der Linse darbieten. Für einen blossen Befestigungsapparat besitzen die Erhebungen einen viel zu grossen Reichthum an Blutgefässen. Der letztere ist, besonders bei den Säugethieren und Vögeln, ein so ansehnlicher, dass man sich der Vermuthung nicht entschlagen kann, es möchten die Gefässe bei der Ernährung der benachbarten Augentheile, besonders der Linse und des Glaskörpers, die ja bekanntlich (bis auf die Fische und Schlangen, welche eine besondere *Arter. hyaloidea* besitzen) der eigenen Blutgefässe entbehren, eine hervorragende Rolle spielen. Wenn wir dann weiter berücksichtigen, dass lange nicht alle Erhebungen des Strahlenkranzes zur Fixation der Linse verwendet werden, dann gewinnt es sogar den Anschein, als wenn die specifische Bildung desselben zunächst eine Einrichtung zur Vergrösserung der gefässtragenden Fläche darstelle, die dann weiter noch, je nach Umständen zu andern Leistungen herangezogen werde. Mit dieser Annahme stimmt auch die Thatsache zusammen, dass der Strahlenkranz im Ganzen mit der räumlichen Entwickelung des hintern Augenraumes, d. h. mit

der Grösse des Glaskörpers, Hand in Hand geht und bei Anwesenheit einer *Art. hyaloidea* fast immer vermisst wird.

§ 38. Dieselbe Function der Ernährung, die wir den Falten des Strahlenkörpers vindicirt haben, müssen wir auch für den sogenannten Fächer (*Pecten*) in Anspruch nehmen, der bei den Vögeln der Eintrittsstelle des Sehnerven aufsitzt und mehr oder minder tief nach der Linse zu in den Glaskörper hineinragt. Obwohl bei den ausgebildeten Thieren durch die allseitig in die Netzhaut umbiegenden Opticusfasern von der Gefässhaut abgetrennt, erscheint derselbe doch nach Entwicklung und Bau als ein Anhangsorgan der Choroidea, das in Form einer mehr oder minder keilförmigen Falte durch die Netzhaut hindurch in den hintern Augenraum hineinragt (Fig. 15, 16). Die Eintrittsstelle des Fächers ist ein Ueberrest der bekanntlich bei den Wirbelthieren auf früher Entwicklungsstufe ganz allgemein an der sog. secundären Augenblase vorkommenden Spalte, die in Form eines pigmentlosen Streifens auch an der Choroidea sich abprägt und deshalb gewöhnlich, wenngleich nicht ganz mit Recht, als Choroidealspalte bezeichnet wird. Der Lage derselben entsprechend, findet man den Fächer denn auch an dem nach Unten und Aussen gewandten Segmente des Augengrundes, an dem derselbe einen meridionalen Verlauf einhält. Bei der Gans, dem Schwan, dem Storch u. a. lässt er sich nach Vorn sogar bis an die Linsenkapsel verfolgen, doch in der Regel endigt er schon früher, noch bevor er den hintern Rand des Verbindungstheiles erreicht hat. In solchen Fällen ist der Fächer oft höher als lang, während er sonst gewöhnlich eine viereckige oder rautenförmige Bildung hat.

Fig. 42.



Auge des Schwanen, mit Fächer.

Die Pigmentirung und der Gefässreichthum ist für ein Gebilde, das ein Anhangsorgan der Choroidea darstellt, fast selbstverständlich. Auffallend dagegen erscheint der Flächenbau des Fächers, der nicht bloss in der Gesammtform sich ausspricht, sondern weiter auch darin, dass die Fächerhaut zickzackförmig, wie bei einer Halskrause, zusammengelegt und gefaltet ist. Form und Zahl der Fächerfalten variiren ausserordentlich in den einzelnen Ordnungen und Gattungen, gelegentlich selbst bei den Individuen derselben Art[1]. Gewöhnlich erscheinen die Falten übrigens nur niedrig und abgerundet, bei dem Strauss und Kasuar aber sind sie scharfkantig und von ansehnlicher Höhe, so dass der Fächer, der ohnediess eine ansehnliche Dicke besitzt, fast zapfenförmig in den Glaskörper vorspringt. Die Zahl der Falten variirt von 5 (Kasuar, Nachtigall, Eule) bis gegen 30 (Krähe), beträgt in der Regel aber (Tagraubvögel, Hühner, zahlreiche Singvögel, Strauss) ungefähr 16, bei den Wasservögeln nur 9—12.

Die Arterien des Fächers sind ohne Zusammenhang mit denen der Choroidea. Sie entspringen aus den Gefässen der Sehnerven, besonders jenen, welche die Scheide umspinnen, und vereinigen sich im Innern des Bulbus

1) Vgl. hierüber besonders R. Wagner, Beiträge zur Anatomie der Vögel. Abhandl. der mathem. physik. Klasse der bayrischen Akademie. München 1832. S. 295.

grossentheils zu einem Stämmchen, das in der Basis des Fächers hinzieht und kammartig sich um eine Anzahl aufsteigender Zweige für die Falten auflöst. Die Capillaren sind zu einem dichten Netzwerk mit einander verflochten und so zahlreich, dass sie den bei Weitem grössten Theil des gesammten Fächers ausmachen. Die Lückenräume des Netzes enthalten eine farblose Gallertmasse, in der um die Gefässe herum zahlreiche schwarze Pigmentkörner abgelagert sind (Michalkovics). Dazu kommt ein Stützgewebe, dessen Fasern zum grössesten Theile den Neurilemmfalten des Opticus entstammen, für gewöhnlich aber nur in spärlicher Menge gefunden werden. Der beim Strauss im Innern des Fächers vorkommende weisse Kern wird vermuthlich gleichfalls diesem Gewebe angehören.

Fig. 43.



Auge des Straussen, mit Fächer.

Der ausserordentliche Gefässreichthum des Fächers und die Flächenbildung desselben beweisen wohl zur Genüge, dass seine Functionen wesentlich vegetativer Art sind. Das schliesst natürlich nicht aus, dass er auch anderweitig noch von Nutzen sei. So scheint namentlich die geringere Ausbildung bei den Nachtvögeln, so wie weiter der Umstand, dass der einzige Vogel, dem der Fächer abgeht, der sonderbare Kiwi-Kiwi, ein exquisites Nachtthier mit verhältnissmässig kleinen Augen ist, darauf hinzudeuten, dass er zugleich zur Absorption des überflüssigen Lichtes diene (Blumenbach). Eine Beziehung zur Accommodation des Auges (Tiedemann, Treviranus) ist nach der ganzen Bildung ausgeschlossen.

Natürlich werden durch den Fächer alle diejenigen Lichtstrahlen, welche auf die Fläche desselben auffallen, von der Netzhaut abgehalten, allein der Ausfall, der dadurch entsteht, dürfte doch kaum hoch zu veranschlagen sein, da die Menge dieser Strahlen wegen der excentrischen Lage des Fächers und der gegen den Haupteinfallwinkel geneigten Richtung nicht eben gross ist. Dazu kommt die grosse Beweglichkeit des Vogelkopfes, die es gestattet, unter allen Umständen leicht die richtige Stellung des Auges zu den Gegenständen ausfindig zu machen. Die in der Höhenrichtung des Fächers einfallenden Strahlen werden durch denselben nicht mehr als durch die Eintrittsstelle des Sehnerven selbst beeinträchtigt, die ja überall bei den Wirbelthieren einen blinden Fleck bedingt.

Auch unter den beschuppten Amphibien giebt es einige Arten mit Kamm, aber die Zahl derselben ist eine beschränkte, und das Gebilde selbst nur von unbedeutender Entwicklung. Man trifft es in Form eines schmalen und niedrigen, keil- oder kolbenförmigen Fortsatzes bei gewissen Eidechsen (Chamäleon Fig. 44, auch Lacerta, Anguis) auf der Eintrittsstelle des Sehnerven aufsitzen. Bei Iguana bildet es zwei Falten, während es sonst glatt ist. Bei mikroscopischer Untersuchung erkennt man darin ein Convolut vielfach verschlungener Capillaren, die von einer zarten Bindesubstanz zusammengehalten und mit schwarzem Pigment überdeckt sind. Der scheibenförmige schwarze Fleck, der bei dem Krokodile die Eintrittsstelle des Sehnerven auszeichnet (Sömmering),

wird von manchen Seiten als ein Rudiment des Fächers in Anspruch genommen. Nach Hulke soll übrigens auch bei Boa constrictor und der Viper ein kleiner Fächer vorhanden sein.

§ 39. Dem hier beschriebenen Fächer müssen wir in morphologischer Beziehung auch den Sichelfortsatz (*Processus falciformis*) der Fische zur Seite stellen. Gleich jenem repräsentirt derselbe eine Bindegewebsfalte, die der sog. Choroidealspalte aufsitzt und durch die Retina hindurch in den Glaskörper hineinragt. Sie beginnt (Fig. 39) an der Eintrittsstelle des Sehnerven und verläuft als eine im Ganzen nur niedrige Falte auf der Innenfläche des unteren Augensegmentes, fast in der Mitte aufsitzend, bis dicht an die Iris, hinter der sie zipfelförmig sich erhebt, um dann mittelst eines mehr oder minder grossen und bauchigen (bei Orthagoriscus 7 Mm. langen, 5 Mm. breiten) conischen Knöpfchens, der sog. *Campanula Halleri*, an den Aequator der Linsenkapsel sich zu befestigen. Die Aussenfläche des Knöpfchens ist bei der Mehrzahl der Fische stark pigmentirt, und ebenso hat auch die Falte oftmals einen bräunlichen oder schwarzen Anflug.

Fig. 44.



Hechtauge nach Entfernung der Cornea und Iris. Man sieht die Linse in Verbindung mit dem Campanula und dem *Ligamentum suspensorium.*

So weit dem Fächer ähnlich, zeigt der Sichelfortsatz nun aber in seinem feineren Bau so grosse Abweichungen, dass wir daraus mit Sicherheit auch auf eine verschiedene Function zurückschliessen dürfen. Statt der vielfach verflochtenen Haargefässe des Fächers enthält die Bindesubstanz des Sichelfortsatzes ein einfaches arterielles und venöses Gefäss, das ohne Verzweigung durch die Sichel hinzieht und erst in der Campanula capillär sich auflöst. Neben dem Gefässe verläuft ein Nervenstämmchen mit doppelt contourirten breiten Fibrillen, die, in der Campanula angelangt, gleichfalls nach allen Richtungen ausstrahlen und dabei dichotomisch, ja selbst büschelförmig sich theilen (Leydig). Kein Zweifel hiernach, dass der Sichelfortsatz eigentlich nur der Stiel der Campanula ist, dazu bestimmt, Gefässe und Nerven (wohl dem *N. oculomotorius* zugehörig) aus der Tiefe des Auges derselben zuzuführen. Und diese Anordnung wird uns verständlich, wenn wir weiter erfahren, dass die Campanula kein »knorpelartiges Gebilde« ist, wie man früher vielfach behauptete, sondern ein Muskel. Auf Längsschnitten (Lachs) sieht man die Fasern derselben in dichter Anlagerung durch den ganzen Kegel hinziehen und durch neue allseitig von der pigmentirten Scheide abgehende Fasern sich verstärken. Leydig, der die musculöse Natur der Campanula entdeckt hat, lässt die Fasern sich so an die Linsenkapsel ansetzen, wie die Finger und die flache Hand eine Kugel umfassen, indessen ist diese Angabe, wie schon Manz ganz richtig bemerkt hat, nur wenig zutreffend. Die Insertion geschieht vielmehr mittelst der Basis des Kegels, so dass die Muskelfasern nahezu senkrecht auf der Insertionsfläche aufsitzen. Dass die Scheide des Muskels eine directe Fortsetzung des Sichelfortsatzes darstellt, braucht kaum besonders hervorgehoben zu werden. Man erkennt das besonders schön beim Lachs, bei dem die Spitze des Muskels noch eine Strecke weit in die Bindesubstanz der Sichel hinein sich verfolgen lässt. Bei demselben Thiere sehe ich auch ein kleines Muskelbündel aus der Campanula direct in die anliegende Iris übertreten.

Der Zusammenhang mit der Linsenkapsel wird durch die umhüllende Bindesubstanz vermittelt, die beim Lachs, wo sie ein dunkles Pigment in sich einschliesst, eine so scharfe Demarcationslinie bildet, dass jeder Gedanke an einen Uebergang der Campanulafasern in die Linsenfasern (Stannius) ausgeschlossen ist. Die Function dieses Muskelapparates kann nur auf die Linse Bezug haben. Bei der Contraction desselben wird ein Zug ausgeübt, der sich auf die Linse überträgt und dieselbe in Form und Lage verändert. Der Zug geschieht natürlich in der Richtung des Muskels, also nach Unten und etwas nach Hinten, gegen den Augengrund, da der Muskel nicht blos nach Oben, sondern auch zugleich um ein Weniges nach Vorn d. h. der Pupille zu gerichtet ist. Es wird unter solchen Umständen wesentlich auf die Befestigung der Linse ankommen, ob sie in Folge des Muskeldruckes sich abplattet oder der Netzhaut um ein Geringes sich annähert, oder vielleicht gar beide Veränderungen eingeht. In allen Fällen aber geschieht durch die Wirkung des Muskels eine Accommodation für die Ferne, so dass wir annehmen dürfen, es sei das Auge der Fische, im Gegensatze zu dem der übrigen Wirbelthiere, während der Ruhe für die Nähe eingestellt.

Fig. 45.



Campanula des Lachs, in Verbindung mit der Linsenkapsel.

Dass es Fische giebt, die zwei einander gegenüberliegende Campanulae besitzen — Cuvier behauptet solches von dem Meeraal, Muraena conger, Sömmering von dem sonderbaren Anableps —, muss so lange zweifelhaft bleiben, bis constatirt ist, dass keine Verwechslung mit dem der Campanula (Fig. 44) gegenüber liegenden Aufhängebande der Linse, das bei den Fischen die *Zonula Zinnii* vertritt (s. u.), stattgefunden hat. Ebenso sind die Angaben von dem blos auf gewisse Arten beschränkten Vorkommen der Campanula einstweilen noch mit Vorsicht aufzunehmen, da dieselbe nicht selten nur klein und farblos ist und deshalb leicht übersehen werden kann. Jedenfalls ist so viel gewiss, dass sie manchen Arten zukommt, denen man sie früher absprach, wie z. B. dem Karpfen. Ebenso dem Rochen, bei dem schon Sömmering sie beschrieben hat.

§ 40. Schon bei mehrfacher Gelegenheit ist von uns hervorgehoben, dass der Strahlenkörper der Fische ein nur sehr unscheinbares Aussehen hat. Er ist eigentlich nichts Anderes, als der vordere Rand der Choroidea, der von der Retina nicht mehr bedeckt wird, sich also zwischen diese und die Iriswurzel einschiebt. Gegen letztere nur unvollständig abgegrenzt (Fig. 33, 35), würde er vielleicht überhaupt nicht als ein besonderer Abschnitt unterschieden werden, wenn er nicht gelegentlich durch seine Faltung dem Strahlenkörper der höheren Thiere ähnlich würde und mit dem Skleralknorpel, dem er aufliegt, eine ungewöhnliche Verbindung einginge. Die letztere wird durch das *Ligamentum ciliare* vermittelt, das in seiner einfachsten Form freilich nichts Anderes ist, als eine ringförmige Wulstung des gewöhnlichen choroidealen Bindegewebes, das sich

namentlich nach Vorn zu verdickt und schliesslich fest an den Vorderrand des Skleralknorpels ansetzt. Muskelfasern konnte ich in diesem Ligamente eben so wenig auffinden, wie LEYDIG, doch will ich bemerken, dass die Fasern desselben ziemlich regelmässig sich schichten und da, wo sie in die Iris hinein sich fortsetzen, nicht selten auch (Hecht) zu einem engmaschigen Netzwerk zusammentreten.

Auch für die nackten Amphibien (Frösche, Tritonen) ist die Anwesenheit von Muskelfasern in diesem Ligamente sehr zweifelhaft. Dagegen aber ist das Strahlenband der übrigen Wirbelthiere ganz allgemein von Muskelfasern durchzogen und nicht selten sogar vorwaltend muskulöser Natur, wie für die Vögel schon lange (seit CRAMPTON) bekannt ist, für die Säugethiere aber erst durch BRÜCKE's klassische Untersuchungen nachgewiesen wurde. Bei der unzweifelhaften, wenn auch mehrfach noch ziemlich dunkeln Beziehung dieses Ciliarmuskels zu dem Accommodationsvermögen ist derselbe in neuerer Zeit vielfach zum Gegenstande eingehender Studien gemacht (H. MÜLLER, E. SCHULZE, FLEMMING, IWANOFF und ROLLET), die uns mancherlei interessante Eigenthümlichkeiten kennen lehrten, zugleich aber auch den Nachweis lieferten, dass seine Anordnung weit grössere Abweichungen darbietet, als man von vorn herein vermuthen konnte.

Die Verschiedenheiten, um die es sich hier handelt, dürften zum Theil übrigens damit im Zusammenhang stehen, dass auch die Bildung des Ligamentes, in das der Muskel eingelagert ist, und die Verbindung desselben mit der Sklera keineswegs in allen Fällen die gleiche ist.

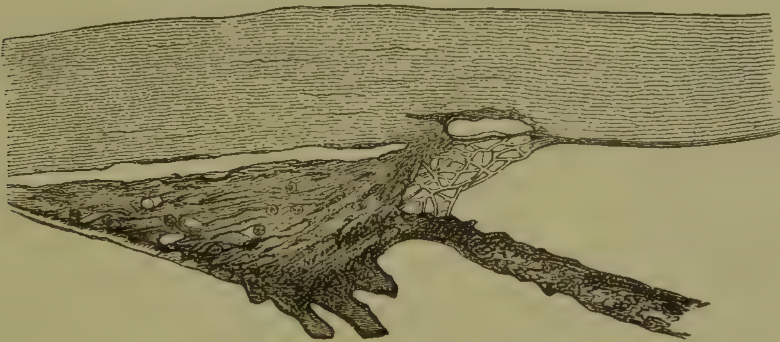
Das *Ligamentum ciliare* des Menschen[1]) hat bekanntlich eine ansehnliche Grösse und eine vorwaltend muskulöse Beschaffenheit. Es bekleidet den sog. *Limbus corneae* und zeigt auf Meridionalschnitten die Form eines langgezogenen Dreieckes, das mit der Spitze nach Hinten sieht und seine Basis nach Vorn kehrt. Der Zusammenhang mit der Augenwand ist auf den Aussenrand dieser Basalfläche beschränkt, aber von grosser Festigkeit, so dass die sonst nur locker aufliegende Gefässhaut sich an dieser Stelle schwer abtrennen lässt. Die dicht gedrängten Muskelfasern verlaufen ihrer bei Weitem grösseren Mehrzahl nach in der Richtung der meridionalen Schnittebene und zwar theils nach Hinten, theils auch von dem Anheftungswinkel aus nach der Innenfläche[2]), so dass man sich versucht fühlt, die Fasern, welche die Anheftung vermitteln, als die Sehnenfasern des Ciliarmuskels in Anspruch zu nehmen. Zu den eben beschriebenen Längsmuskelfasern gesellt sich (nach H. MÜLLER's Entdeckung) noch ein System von Ringsfasern, deren Bündel vorzugsweise am vorderen Innenwinkel des Ligamentes, der Anheftungsstelle gegenüber, hinlaufen, und durch ihre Zusammenziehung einen Druck nach der Linse zu auszuüben vermögen.

Die Iris nimmt natürlich aus der Substanz des Strahlenkörpers ihren Ursprung. Sie erscheint als eine nach der Augenachse zu gerichtete ringförmige Falte, die in der Nähe des Anheftungswinkels von der basalen Vorderfläche des Ligamentes abgeht und mit der Cornea einen spitzen Winkel bildet.

1) Vgl. Bd. I. Th. 1. S. 27, Fig. 17. S. 271, Fig. 2.
2) Vgl. Fig. 2 auf S. 271. Bd. I. Th. 1.

Dieser sog. Iriswinkel wird von zahlreichen feinen und zarten elastischen Fasern durchzogen, welche zwischen dem Cornearande und der Iriswurzel sich ausspannen und unter sich zu einem zusammenhängenden Netzwerk, dem sog. *Ligamentum pectinatum*, vereinigt sind. (Vgl. die schon oben angezogenen Abbildungen.) Allem Anschein nach entstehen dieselben durch eine Zerfaserung der Descemet'schen Haut, mit der sie continuirlich zusammenhängen und auch das Lichtbrechungsvermögen theilen. Das Organ, das sie bilden, erinnert durch Lage und Bau an das oben (S. 205) beschriebene ringförmige Ligament des Fischauges, unterscheidet sich aber dadurch, dass es auf den äussersten Iriswinkel beschränkt bleibt, die eigentliche Iris also frei lässt, und ein System von Hohlräumen einschliesst, die eine directe Fortsetzung der vorderen Augenkammer darstellen. Bei dem Menschen hat dieses *Ligamentum pectinatum* übrigens eine nur unbedeutende Entwicklung, so dass es leicht übersehen werden kann und bis auf die neueste Zeit auch wenig Beachtung gefunden hat. Aber schon bei den Anthropomorphen erreicht es eine stärkere Entwicklung, und das beim Orang noch mehr als bei dem Chimpanse. Nicht bloss, dass es hier den Iriswinkel in grösserer Ausdehnung durchzieht, es werden auch die Fasern (besonders beim Orang) zu ansehnlichen glashellen Balken, die auf das Mannichfaltigste sich verästeln und mit einander zusammenfliessen. Besonders sind es die vordern und innern Balken, die durch Dicke und Festigkeit sich auszeichnen, während jene,

Fig. 46.



Iriswinkel mit *Ligamentum pectinatum* und *Musculus ciliaris* vom Orang.

die mehr in der Tiefe des Winkels liegen, und dem Schlemm'schen Kanal zugewendet sind, eine feinere Beschaffenheit besitzen, dafür aber auch weit dichter gedrängt sind. Der Schlemm'sche Kanal selbst wird an vielen Stellen mit den Maschenräumen des Ligamentes in klaffender Verbindung gesehen, wie es nach Schwalbe auch bei Menschen und den übrigen Säugethieren — für die ich diese Angabe bei dem Pferd, Delphin u. a. bestätigt sehe — der Fall ist. Eine weitere Auszeichnung der genannten Anthropomorphen finde ich darin, dass ihr *Musculus ciliaris* von zahlreichen rundlichen Pigmentzellen durchsetzt wird, die bei den Menschen bekanntlich fehlen, und eine beträchtliche Grösse besitzt. Freilich sind die Fasern weniger fest verpackt und die einzelnen Züge, besonders diejenigen, welche fächerförmig an die Innenfläche sich ansetzen, mehr gesondert. Ent-

schieden kräftiger entwickelt aber sind (besonders beim Orang) die Ringmuskelzüge, die sich von dem vordern und innern Winkel bis über die Mitte nach hinten zwischen die Enden der Längsfaserzüge einschieben.

Bei den übrigen Säugethieren zeigt das Verhalten der hier beschriebenen Organe mancherlei Abweichungen, die freilich bis jetzt noch keineswegs vollständig gekannt sind. Einerseits stehen, wie es scheint, die Pflanzenfresser, andrerseits die Raubthiere, je durch besondere Eigenthümlichkeiten ausgezeichnet. Am meisten schliesst sich von den bis jetzt untersuchten Thieren noch das Schwein an Mensch und Affen an, nur dass der Ciliarmuskel schwächer ist und auf die hintere Hälfte des Strahlenkörpers beschränkt bleibt. Da aber gleichzeitig auch die Sehnenverbindung mit der Sklera nach hinten verlegt ist, so gewinnt das *Ligamentum pectinatum* die Möglichkeit, seinerseits ebenfalls seine Lage zu ändern und über die Iriswurzel hinaus zwischen Strahlenkörper und Sklera sich einzuschieben. Nur die vordersten Balken bleiben mit der Iris im Zusammenhang. Sie werden zu ansehnlichen Strängen, welche die Iriswurzel mit dem Cornealrand verbinden und sich dem letztern mittelst einer niedrigen (nur beim Schwein von mir beobachteten) Ringsleiste inseriren.

Fig. 47.



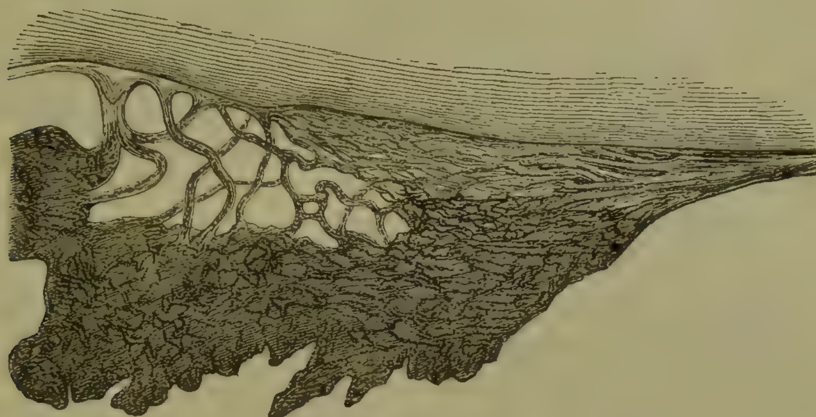
Canalis Fontanae vom Schwein auf dem Längsschnitte des vorderen Augensegmentes. Die Iris ist nach Hinten umgeschlagen.

Am besten erkennt man diese Bildung, wenn man an einem Meridionalsegmente des Auges die Iris nach Hinten umschlägt und den Iriswinkel mit der Loupe betrachtet. Die Verbindungsstränge erscheinen dann wie die Zähne eines Kammes, die der Iriswurzel aufsitzen und die vordere Begrenzung eines von zahlreichen Balken und Fasern durchsetzten dreikantigen Hohlraumes bilden, der ringförmig um den vorderen Theil des Ciliarkörpers herumgreift.

Noch deutlicher ist das hier beschriebene Bild bei dem Rinde und anderen grössern Pflanzenfressern, bei denen die Iriszähne zu einer beträchtlichern Länge heranwachsen und einen Hohlraum begrenzen, der, besonders am frontalen und facialen Rande des Ciliarkörpers, eine ansehnliche Weite besitzt. Es ist derselbe Raum, den die älteren Anatomen nach seinem ersten Beobachter Fontana (1778) benannten, irrthümlicher Weise aber als einfachen Canal beschrieben, der ringförmig um die Iris herumlaufe. Das Balkennetz, das diesen Raum durchzieht, ist — obwohl schon von Sömmering beim Luchs (Fig. 20) und Adler gesehen — doch erst in jüngster Zeit genauer untersucht worden. Allerdings stammt die Bezeichnung *Ligamentum pectinatum* schon aus dem Anfang der vierziger Jahre, allein das, was ursprünglich von Hueck unter diesem Namen beschrieben wurde, ist nicht eigentlich das Maschengewebe des Fontana'schen Raumes, sondern bloss der Kranz von Iriszähnen, der denselben bei den grössern Pflanzenfressern überbrückt und gegen die vordere Augenkammer absetzt. Wie übrigens schon oben angedeutet, ist zwischen diesen Iriszähnen und den Balken des Fontana-schen Raumes eigentlich nur ein relativer Unterschied. Dieselben sind eben nichts, als die grössten und stärksten Balken, die vorzugsweise zur Befestigung der Iris beitragen. Besonders überzeugend ist das bei dem Pferde, bei dem die betreffenden Gebilde eine so excessive Entwicklung haben, dass die vorderen

derselben, die sog. Iriszähne, selbst die *Tunica Descemetii*, die doch reichlich 0,2 M. misst, an Dicke übertreffen. Man sieht letztere, wenngleich verdünnt, nach Hinten über die Iriszähne hinaus sich fortsetzen und mit der glashellen Sub-

Fig. 48.



Ligamentum pectinatum und Ciliarkörper mit Muskel vom Pferde, im Längsschnitt.

stanz der Balken eben so, wie mit den vordern Zähnen, in directem Zusammenhange. Selbst der in der Achse der letztern hinziehende Faserstrang, dessen dünne Fibrillen bis in die Bindesubstanz der Cornea hinein sich verfolgen lassen, wird in schwächerer Entwicklung hier und da noch in den Balken aufgefunden. Die Aussenfläche ist von dunkeln Pigmentzellen übersponnen, durch deren Lückenräume die Glassubstanz des Balkengewebes hindurchsieht.

Nach Hinten und Aussen folgt auf dieses Balkengewebe bei dem Pferde noch ein feineres Netzwerk von bindegewebiger Textur, mit Strängen, die der Glassubstanz und der Pigmentzellen entbehren und hierdurch sich sehr bestimmt von den vorausgehenden Balken unterscheiden, obwohl eine scharfe Abgrenzung kaum möglich ist. Die Hauptzüge dieses Maschengewebes halten eine meridionale Richtung ein. Sie verlaufen von der Sklera, der sie sich beimischen, nach Hinten und Innen gegen den Ciliarmuskel, so dass sie, wie auch Flemming bemerkt, mit Fug und Recht als dessen Sehne in Anspruch genommen werden müssen, zumal der Muskel sonst überall durch den Subchoroidealraum von der Sklera getrennt ist. Der letztere hat übrigens eine im Ganzen nur schwache Entwicklung, so dass er bei der starken Pigmentirung der von ihm durchsetzten Bindesubstanz leicht übersehen werden kann. Er besteht ausschliesslich aus meridionalen Fasern, deren Züge zum grossen Theile direct in die Sehnenstränge hinein sich verfolgen lassen.

Auch bei anderen grösseren Pflanzenfressern lässt sich das *Ligamentum pectinatum* in zwei von einander verschiedene Abschnitte auflösen, die sich durch Aussehen und Lage an die hier vom Pferde beschriebenen Theile anschliessen. Es liegt natürlich nahe, das der Sklera zunächst anliegende feinere Maschenwerk, trotz seiner im Ganzen weit schwächeren Entwicklung, auch hier als Sehne des Ciliarmuskels zu deuten, allein der Zusammenhang ist weniger evident, obwohl es den Anschein hat, dass die Bündel des Muskels zum Theil wenigstens gleichfalls dahin ausstrahlen. Ein anderer Theil inserirt sich hinter dem frag-

lichen Maschengewebe durch eine mehr compacte Bindesubstanz an die Sklera, wie das auch bei den Menschen und Affen der Fall ist. (Schwalbe scheint im Gegensatz zu dieser Auffassung geneigt zu sein, das Maschenwerk mit den darin eingelagerten Zellen dem Lymphgewebe zuzurechnen.)

Der Ciliarmuskel selbst bleibt überall weit hinter der Entwicklung zurück, die wir für Mensch und Affen oben beschrieben haben. Das Schwein scheint in dieser Hinsicht noch am besten ausgestattet zu sein und sich am meisten den Verhältnissen des Menschen anzunähern, zumal es ausser den Meridionalfasern nach Iwanoff und Rollett auch eine Anzahl von Ringfaserbündeln aufweist, die zwischen die gegen das Netzgewebe des Fontana'schen Raumes ausstrahlenden vordern Längsmuskelbündel sich einschieben, also der Sklera anliegen, während die Circulärmuskeln des Menschen und Affen bekanntlich der Oberfläche der Ciliarfortsätze angenähert sind. Den übrigen Pflanzenfressern fehlen die Ringfasern, doch finden dieselben dafür insofern einigen Ersatz, als sich bei ihnen vorn zwischen die auseinanderweichenden Züge der Meridionalfasern zahlreiche diagonal und quer verlaufende Anastomosenbündel einschieben.

Dass die Nager unter den uns hier interessirenden Thieren von allen den schwächsten Ciliarmuskel besitzen, kann bei der unbedeutenden Grösse ihrer Augen nicht überraschen. Wiederholt doch auch sonst bei denselben die Bildung des Strahlenkörpers (Irisanheftung, Fontana'scher Raum) die Verhältnisse der übrigen Pflanzenfresser in verkleinertem Maassstabe. In Berücksichtigung übrigens der Kleinheit und Zartheit der übrigen Theile ist der Muskel nicht einmal schwach zu nennen, obwohl er nur aus wenigen Längszügen besteht, die der Sklera zugekehrt sind und in den innern, dem Glaskörper anliegenden Theil des *Corpus ciliare*, dem sonst doch gewöhnlich der mehr bauchige hintere Abschnitt des Muskels anliegt, gar nicht hineingreifen (Flemming). Die Untersuchung wird freilich dadurch erschwert, dass der Ciliarmuskel — wie überhaupt bei allen Säugethieren mit Ausschluss des Menschen — von zahlreichen Pigmentzellen durchsetzt und verdeckt wird.

Die Eigenthümlichkeiten, die wir den Raubthieren oben im Gegensatz zu den Pflanzenfressern vindicirt haben, betreffen sowohl den Ciliarmuskel, wie auch das sog. *Ligamentum pectinatum*. Der erstere ist, im Zusammenhang mit der stärkeren Entwickelung des gesammten Ciliartheiles, kräftiger, namentlich länger und mit einem Theile seiner Faserbündel unterhalb des *Ligamentum pectinatum* mehr oder minder weit nach Vorn — bei der Katze bis zur Abgangsstelle der Iris — zu verfolgen. Der grössere Theil der Muskelbündel geht freilich schon vorher auf das Maschennetz des *Ligamentum pectinatum* über, das einen deutlich fibrillären Bau zeigt und seiner Hauptmasse nach offenbar auch hier eine Sehnenvorrichtung darstellt, obwohl andere Muskelzüge weiter hinten sich direct der Sklera verbinden. Uebrigens steht das Maschenwerk des Ligamentes nicht bloss mit der äussern Augenhaut, sondern auch mit der Iriswurzel im Zusammenhang. Die vordersten Balken dienen sogar ausschliesslich zur Befestigung der Iris. Sie entsprechen den Iriszähnen der Pflanzenfresser, nur dass sie bei schlankerer Form eine sehr viel beträchtlichere Länge besitzen und meist ziemlich regelmässig sich verästeln, auch mittelst dieser Aeste nicht selten (Hund) arkadenartig unter sich verbunden sind. Freilich stehen die Stränge dafür auch in einem weit grösseren Abstande, als die mehr säulenartigen Iriszähne der Pflanzenfresser.

Wie die Raubthiere, so verhalten sich im Wesentlichen auch die Delphine, doch findet sich neben dem Uebereinstimmenden vielerlei Eigenthümliches, das an einem andern Orte seine Darstellung finden soll. Nur so viel sei hier erwähnt, dass der ciliare Muskelapparat hier nicht bloss aus Längsbündeln besteht, sondern auch circuläre Fasern besitzt, die durch ihre Lage mit denen des Schweines übereinstimmen.

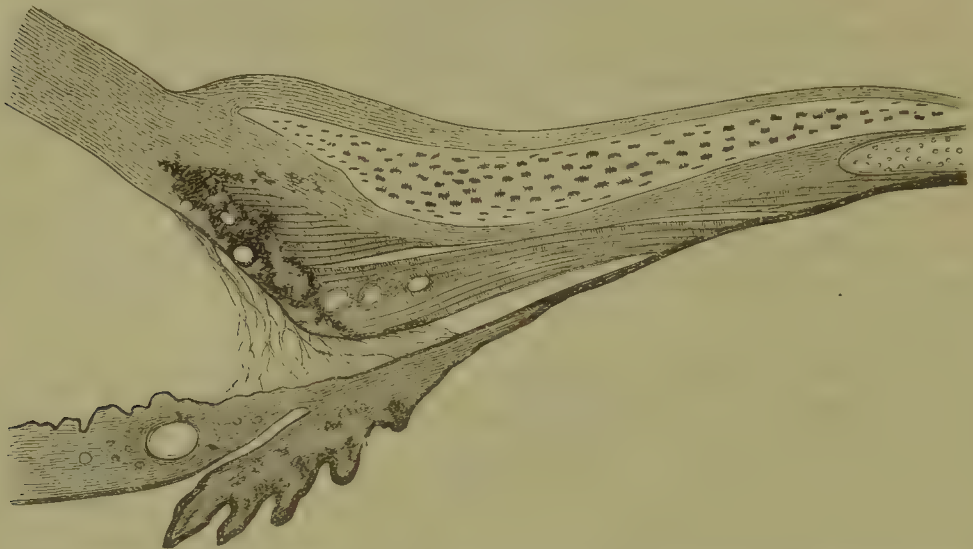
Der Umstand übrigens, dass diese Ringsfasern dem Ciliarmuskel der meisten Säugethiere abgehen, beweist wohl zur Genüge, dass die Längsfasern für die Vorgänge der Accomodation die grössere Bedeutung haben. Auf welche Weise freilich die Muskelwirkung auf die Linse übertragen wird, ist einstweilen noch nicht mit Sicherheit ausgemacht. Wir wissen nur so viel, dass die Linse unter dem Drucke der sich contrahirenden Muskeln ihre Form verändert und eine mehr oder minder starke Wölbung annimmt. Ursprünglich für die Ferne eingestellt, wird das Auge der Säugethiere also für nahe Gegenstände accommodirt. Der Unterschied, der sich hiernach zwischen unsern Thieren und den Fischen herausstellt, ist allerdings auffallend genug, doch dürfte es nicht allzu schwer sein, denselben durch einen Hinweis auf die abweichenden Lebens- und Bewegungsverhältnisse hinreichend zu motiviren.

Unter den verschiedenen Hypothesen, die man über die Wirkungsweise des Ciliarmuskels aufgestellt hat, dürfte jedenfalls die von Brücke, der in demselben einen *Tensor choroideae* sieht, vom vergleichend anatomischen Standpunct aus am meisten Beachtung verdienen. Für die genuinen Pflanzenfresser möchte sie einstweilen sogar die einzig zulässige sein, da Lage und Faserverlauf des Muskels hier eine Uebertragung auf die Ciliarfortsätze, resp. das Ciliarband, dessen Erschlaffung ja immerhin eine Aufbauchung der (in elastischer Spannung befindlichen) Linse zur Folge haben könnte, ausschliesst. Für andere Säugethiere, besonders Mensch und Affe, liegt es freilich nahe, dieses Ciliarband mit den Vorgängen der Accomodation in Beziehung zu bringen. Ebenso dürfen wir annehmen, dass die Raubthiere, besonders die Katzen, durch Hülfe ihres Ciliarmuskels die Iris nach rückwärts zu ziehen vermögen und dadurch im Stande sind, den Druck auf den Linsenrand, der durch die circulären Randfasern der Iris ausgeübt werden kann, zu verstärken. Eine directe Einwirkung des Ciliarmuskels auf die Linse, analog derjenigen, die wir oben für die Campanula der Fische statuiren konnten, ist nirgends möglich.

Wie die Säugethiere, so sind übrigens auch die Vögel ganz allgemein mit einem Ciliarmuskel ausgestattet. Es hat derselbe durchschnittlich sogar eine sehr viel ansehnlichere Entwicklung, als bei den ersteren. Nicht bloss, dass er aus quergestreiften Fasern besteht, die an Dicke kaum hinter denen der peripherischen Körperwand zurückstehen, es sind diese Fasern auch in dichter Menge an einander gelagert und so massenhaft entwickelt, dass die Bindesubstanz fast völlig dadurch verdrängt ist und statt des Ligamentes ausschliesslich ein Muskel gefunden wird. Begreiflich unter solchen Umständen, dass derselbe schon länger als ein Vierteljahrhundert (seit 1824) bekannt war, bevor die Brücke'sche Entdeckung die Aufmerksamkeit des Anatomen und Physiologen in Anspruch nahm. Das Detail der Bildung ist freilich erst in neuerer Zeit durch H. Müller's Untersuchungen zu einer erschöpfenden Kenntniss gekommen.

Der betreffende Muskel besteht wiederum ausschliesslich aus Längsfasern, die sich in Form eines ziemlich dicken Ringes der Innenfläche des Verbindungstheiles auflagern, in den verschiedenen Schichten aber abweichende Insertionen haben, so dass man danach den ganzen Muskel in drei Portionen zerfällen kann, die besonders bei den Raubvögeln (Fig. 28, f, i, k) scharf gegen einander sich absetzen, bei den übrigen aber mehr oder minder innig zu einer zusammenhängenden Masse vereinigt sind.

Fig. 49.



Längsschnitt des Ciliarapparates vom Truthahn. Mit Iriswurzel, Strahlenring, *Canalis Fontanae*, Muskel und Sklera, deren Bindesubstanz den Knochenring und Knorpel einschliesst.

Zum Verständniss dieser Bildung muss zunächst bemerkt werden, dass der Aussenrand der Cornea bei den Vögeln nach Innen und Hinten eine ringförmige Leiste abgiebt, wie wir sie ähnlich, nur beträchtlich kleiner, schon oben bei dem Schweine angetroffen haben. Auch bei den Vögeln dient diese Leiste zum Ansatz für die Balken des *Ligamentum pectinatum*. Aber nicht bloss für die vordern, die bei den Säugethieren das System der sog. Iriszähne bilden, sondern für fast alle, so viel sich deren zwischen den Wänden des weit über die Iriswurzel nach Hinten reichenden tiefen und spaltförmigen *Canalis Fontanae* ausspannen. Dieselbe Leiste bildet nun aber auch den vordern Ansatzpunct für eine grosse Menge von Muskelfasern und zwar für alle jene, welche die zwei vorderen Portionen des Ciliarmuskels darstellen. Die äussere dieser Portionen, der sog. Crampton'sche Muskel, füllt den grössern Theil der Rinne, die zwischen der Leiste und der Innenwand des Verbindungsstückes, einer Hohlkehle vergleichbar, ringförmig um den Canalrand herumläuft. Sie besteht aus Fasern, die von Vorn und Innen nach Hinten und Aussen verlaufen und immer länger werden, je mehr sie sich der Augenachse annähern. Sie befestigen sich sammt und sonders mit ihrem hintern Ende an die Sklera oder, wenn man lieber will, an den vordern Rand des Scleroticalringes, der natürlich einen festen Punct abgiebt, so dass der Contractionseffect dieser Fasern sich immer nur auf die Cornealeiste übertragen kann. Die nach Innen davon gelegene zweite (Müller'sche) Portion

les Muskels wird von Fasern gebildet, die gleichfalls mit der Cornealeiste in Verbindung stehen, auch in wesentlich gleicher Richtung verlaufen, wie die Crampton'schen, aber länger sind, so dass sie eine Strecke weit an der Innenwand der Sclerotica hinziehen, um sich schliesslich hinter der Mitte des Verbindungstheiles an der Choroidea zu befestigen. Sie haben also zwei bewegliche Ansatzpuncte, so dass es von den Umständen abhängt, ob der vordere oder hintere durch die Zusammenziehung in seiner Lage verändert wird. Allem Vermuthen nach wird es vornehmlich die Choroidea sein, auf die sich die Bewegung überträgt. Mit Bestimmtheit lässt solches sich für die dritte hintere (sog. Brücke'sche) Portion des Ciliarmuskels behaupten, der ganz nach Analogie des Ciliarmuskels bei den Säugethieren zwischen Gefässhaut und Augenwand sich ausspannt. Die vorderen Enden dieser Fasern, die namentlich bei den Raubvögeln eine kräftige Entwicklung haben, während sonst mehr die Müller'sche Portion überwiegt, greifen mit ihrem vordern Ende über die hintere Insertion der letzteren hinauf, so dass sie Müller im Gegensatze zu diesen als *M. tensor choroideae externus* bezeichnen konnte. Die Verbindung mit der Choroidea geschieht ungefähr auf der Höhe des vorderen Skleralknorpelrandes, am untern Ende des Strahlenkranzes, der hier durch ein reiches elastisches Gewebe (Fig. 28 *m*) mit der Sklera zusammenhängt.

Die Rolle, welche diese drei Muskelportionen bei der Accommodation spielen, ist im Einzelnen natürlich schwer zu beurtheilen. Am dunkelsten ist die Function der Crampton'schen Fasern. Eine Zeit lang glaubte man, dass die Wirkung derselben in einer Vergrösserung (Crampton) oder auch einer Verkleinerung (Brücke) der Hornhautradien ihren Ausdruck finde, allein spätere directe Beobachtungen und Versuche (Cramer) haben nachgewiesen, dass bei der Accommodation des Vogelauges überhaupt keine Aenderung der Hornhautkrümmung stattfindet. Wie bei den Säugethieren ist es nur die Linse, die dabei ihre Form verändert, indem sie zum Zwecke des nahen Sehens mit ihrer Vorderfläche stärker sich aufwölbt. Dass diese Veränderung nicht bloss durch die Wirkung des Ciliarmuskels geschieht, sondern weiter auch die gleichzeitige Beihülfe der Irismuskeln erfordert, dürfen wir nach den Erörterungen von H. Müller für ausgemacht ansehen. Die bei den Vögeln besonders kräftig entwickelten äusseren Ringmuskeln der Iris, die bis nahe an den Ciliarrand reichen, müssen bei ihrer Contraction auf die äquatoriale Zone der Linse einen Druck ausüben, der sich vornehmlich auf die vordere Fläche überträgt, weil die Choroidea gleichzeitig durch die Contraction ihrer Tensoren nach Vorn gezogen wird und der Glaskörper dabei gegen die hintere Linsenfläche andrängt. Der *Humor aqueus* setzt der Formveränderung der Linse um so geringere Hindernisse entgegen, als er, beweglich wie er ist, nach Hinten in den Fontana'schen Raum hinein überfliesst, sobald dieser durch die Zusammenschnürung der Iris erweitert wird. Vielleicht auch, dass gleichzeitig die Crampton'schen Muskelfasern durch Auswärtsbewegung der fibrösen Cornealplatte auf die Füllung dieses Raumes einigen Einfluss ausüben. Uebrigens ist auch die Substanz der letzteren selbst von einer Reihe weiter Canäle durchzogen, die durch ihr Aussehen an den Schlemm'schen Canal der Säugethiere erinnern und gleich diesem möglicher Weise ebenfalls mit dem Fontana'schen Raume in Zusammenhang stehen. Sie erreichen namentlich wieder bei den Raubvögeln eine ansehnliche Entwicklung und dürften, falls unsere

Voraussetzung zutrifft, dem Zuge der Crampton'schen Fasern zunächst ausgesetzt, wohl gleichfalls bei der Vertheilung des Kammerwassers in Betracht kommen.

Ueber die Accommodationseinrichtungen der Reptilien sind unsere Kenntnisse bis jetzt noch sehr spärlich und unvollkommen. Wir wissen kaum mehr, als dass diese Thiere einen Ciliarmuskel besitzen, der durch die Querstreifung seiner Fasern und seine Lage an der Innenfläche des Verbindungstheiles mit dem entsprechenden Gebilde der Vögel eine grosse Aehnlichkeit besitzt, obwohl er in seiner Gesammtentwicklung beträchtlich dahinter zurücksteht. Nach den Mittheilungen von H. Müller lässt dieser Muskel bei Lacerta agilis sogar dieselben drei Portionen erkennen, die wir für die Vögel oben beschrieben haben. Sie haben trotz der Kürze der Fasern ganz dieselben Insertionen und zeigen namentlich auch vorn die gleiche Verbindung mit der Hornhaut resp. einer dem Rande derselben aufsitzenden Lamelle. Bei dem Chamäleon hat diese Lamelle sogar die Länge der Knochenschuppen. In Uebereinstimmung damit entspricht hier auch die Hauptmasse der Muskelfasern ihrer Verbindung nach der Crampton'schen Portion, die somit weit nach Hinten gerückt erscheint (Fig. 14). Nur die letzten Bündel treten an die äussere Lamelle der Choroidea.

Die Frösche und Salamander scheinen des Ciliarmuskels, und überhaupt des Accommodationsapparates, zu entbehren. Dafür aber finden Iwanoff und Rollett bei ihnen im Umkreis der vorderen Augenkammer ein »von einem dichten Zellenreticulum ausgefülltes Dreieck«. Sie sind geneigt, dasselbe als Analogon des *Ligamentum pectinatum* zu betrachten, das bei den Säugethieren und Vögeln den Fontana'schen Raum erfüllt, obwohl es vielleicht näher liegt, es dem oben von uns bei den Fischen beschriebenen (S. 205) ringförmigen Irisligamente an die Seite zu stellen.

§ 41. Die vom Rande der Cornea frei in den vorderen Augenraum hineinhängende Iris haben wir oben als eine Verlängerung der Choroidea in Anspruch genommen. Dass solches mit Recht geschah, beweist nicht bloss die Entwicklungsgeschichte, sondern auch das Verhalten der Fische, besonders der Knochenfische und der übrigen Arten mit glattem, wenig entwickeltem Strahlenkörper, bei denen man auf dünnen Längsschnitten (Fig. 33) die Schichten der Choroidea ohne Unterbrechung in die Substanz der Iris hinein verfolgen kann, auch kaum im Stande ist, letztere mit Bestimmtheit gegen den vorderen Rand des Strahlenkörpers abzugrenzen. Mit der Entwicklung und Ausbildung eines Strahlenkranzes wird die äussere Begrenzung der Iris freilich schärfer und das betreffende Gebilde selbstständiger, aber trotzdem wird die Beziehung zu der Gefässhaut des Auges nirgends gelöst, auch nicht bei den Vögeln (Fig. 49), die doch sonst die Eigenthümlichkeiten der Irisbildung am meisten zum Ausdruck bringen.

Natürlich gehen die anatomischen Eigenschaften Hand in Hand mit den specifischen Functionen der Iris, die — von den Beziehungen zur Accommodation und zur Absonderung des Augenwassers abgesehen — vornehmlich darin bestehen, die Randstrahlen, die bekanntlich nur unvollständig gebrochen werden würden, von der Linse abzuhalten und die Lichtstärke der Bilder den Verhältnissen entsprechend zu reguliren. Die Iris ist mit anderen Worten ein bewegliches Diaphragma, dessen Bedeutung in demselben Verhältnisse steigt, als

die Gegenstände, die gesehen werden sollen, verschieden beleuchtet (und entfernt) sind. Begreiflich hiernach, dass wir bei den weit- und scharfsichtigen Thieren, besonders also den Vögeln und Säugethieren, die Iris besser und selbstständiger ausgebildet finden, als das bei den übrigen und namentlich den Fischen der Fall ist.

Histologisch besteht die Iris überall bei den Wirbelthieren aus einer bindegewebigen Platte, die hinten von einer tief schwarzen Pigmentlage (*Uvea*), einer continuirlichen Fortsetzung des Choroidealpigmentes, bedeckt ist, auch meist auf der vorderen Fläche gefärbt erscheint, und ausser zahlreichen, bei den Fischen mächtig erweiterten Blutgefässen, noch Muskelfasern und Nerven in verschiedener Menge in sich einschliesst. Dass bei den Fischen auch die Argentea ohne Unterbrechung in die Iris hinein sich verfolgen lässt, ist schon oben (S. 214) hervorgehoben. Sie bildet eine mehr oder minder dicke Schicht, die vor den Gefässen und dem Bewegungsapparate durch die ganze Fläche der Iris hinzieht und dem Auge die bekannte Metallfarbe giebt, die je nach der Menge der aufgelagerten dunkeln Pigmentzellen bald so, bald anders nüancirt ist. Auch das Auge der nackten und beschuppten Amphibien hat nicht selten einen lebhaften Metallglanz, welcher gleichfalls von Zellen mit irisirender (wenn auch nicht gerade krystallinischer) Substanz im Innern herrührt, die mehr oder minder massenhaft und oft plump verästelt in die Vorderfläche der Iris eingelagert sind. Die so häufig wiederkehrenden gelben Pigmentirungen sind (nach Leydig) durch eigenthümliche Molecularkörnchen bedingt, die bei auffallendem Lichte weissgelb und glänzend, bei durchfallendem aber schwarz aussehen und sich auch im menschlichen Auge vorfinden, wenn dieses eine gelbbräunliche Färbung hat. Die Vögel mit gelber Iris zeigen daneben noch gelbe Fetttropfen von auffallender Grösse, die oftmals gruppenweis von Gefässen umzogen sind und bei schwacher Vergrösserung dann ein zierliches Aussehen darbieten. In anderen Fällen ziehen die Fetttropfen auch ins Röthliche und Violette. Ueberhaupt wechselt die Färbung der Iris bei den Vögeln in einer so mannichfaltigen Weise[1], dass fast sämmtliche Farbennüancen, sogar Weiss und Grün und Purpur, bei denselben vertreten sind. Dabei soll sich die Farbe im Grossen und Ganzen nach der Intensität des Lichtes richten, dem die Vögel ausgesetzt sind, der Art, dass die helle Iris vornehmlich solchen Arten zukommt, die in lichter Umgebung leben. Die Singvögel haben übrigens meist braune, die Raubvögel gelbe, die Papageien und Wasservögel rothe Augen. In einzelnen Fällen wechselt auch die Farbe der Iris nach Alter und Geschlecht.

Weit bedeutungsvoller übrigens, als diese Unterschiede der Färbung, sind die Verschiedenheiten, die in der Muskulatur der Iris uns entgegentreten. Aus bald glatten, bald auch (Vögel und Reptilien) quer gestreiften Fasern gebildet, durchzieht dieselbe das Gewebe der Iris bei manchen, namentlich den Vögeln, in solcher Stärke, dass man sie durch eine vorsichtige Behandlung selbst makroscopisch darzustellen vermag, während sie bei anderen so unscheinbar wird, dass es der aufmerksamsten Untersuchung und der delikatesten Methoden bedarf, sie überhaupt nachzuweisen. Selbst bei den Säugethieren streitet man

1) Vgl. hierüber die Angaben von Tiedemann, Zoologie Bd. II. S. 63.

heute noch vielfach über die Anordnung der Irismuskeln, und doch sind diese weit leichter zu demonstriren, als die der Fische.

Die Existenz derartiger Unterschiede lässt sich übrigens schon daraus erschliessen, dass die verschiedenen Wirbelthiere auf einen äussern Lichtreiz sehr ungleich reagiren. Auf der einen Seite stehen die Vögel, deren Iris sich mit grösster Geschwindigkeit und Präcision bald stark verkürzt, bald soweit verlängert, dass die Pupille fast verschwindet, auf der anderen dagegen die Fische, bei denen die Iris so träge und langsam sich bewegt, dass man sie für absolut starr halten würde, wenn man nicht gelegentlich (Aal, Hundshai) mit aller Bestimmtheit eine Verengerung der Pupille constatiren könnte. Ob das freilich bei allen Arten möglich ist, steht dahin: es ist durchaus nicht unwahrscheinlich, dass die Muskelfasern unter gewissen Verhältnissen bei den Fischen völlig schwinden, zumal dieselben auch im günstigsten Falle nur eine äusserst schwache Lage bilden, die mit der schweren, dicken und starren Masse der Iris, die noch dazu durch das früher beschriebene Ligament der Cornea in grosser Ausdehnung verbunden ist, in einem auffallenden Gegensatze steht. Bei den Vögeln beschränkt sich die Muskelthätigkeit der Iris nicht einmal auf die Veränderungen der Pupillenweite, man sieht an derselben, wie schon ältere Beobachter vielfach bemerkten, nicht selten auch eine eigenthümliche undulirende Bewegung, die von einer selbstständigen Contraction der äusseren Randzone herrührt, in Folge deren die Vorderfläche der Iris sich runzelt, ohne dass die Weite der Pupille merklich dabei verändert wird. Da diese Erscheinung besonders dann zur Beobachtung kommt, wenn man starke Accommodationsbewegungen veranlasst, so darf man sie wohl als einen Beweis für die Richtigkeit der oben ausgesprochenen Ansicht ansehen, dass die äussere Partie der Iris bei den Vorgängen der Accommodation eine wichtige Rolle spielt, vielleicht selbst vorwiegend accommodativen Zwecken dient (H. Müller). Damit stimmt auch die Thatsache, dass die Grösse der Pupille bei den Vögeln bisweilen sehr beträchtliche Aenderungen erleidet, ohne dass die äussere Zone der Iris daran entsprechenden Antheil nimmt. Ob freilich diese Bewegungen dem Willen unterworfen sind, wie früher oftmals behauptet wurde, steht dahin.

Der abwechselnden Zusammenziehung und Erweiterung der Pupille entspricht es nun, wenn wir sehen, dass sich die Muskulatur der Iris ganz allgemein bei den Wirbelthieren aus zwei von einander verschiedenen Systemen zusammensetzt, denselben, die für den Menschen schon früher [1]) ihre Darstellung gefunden haben, aus einem Sphincter, dessen Fasern ringförmig angeordnet sind, die Form der Iris also wiederholen, und einem Dilatator mit radiär verlaufenden Fasern. Beide Muskeln sind in ihrer Thätigkeit von einander unabhängig; sie werden sogar von verschiedenen Nerven erregt, der Dilatator vom Sympathicus, der Sphincter aber von dem Oculomotorius. Die Fasern dieses Nerven bilden, durchmischt mit solchen des Trigeminus, die sog. Ciliarnerven, die in einfacher (Vögel) oder grösserer Zahl (6 beim Hasen, 7 beim Schwein, 12 bei dem Marder, 18 bei der Katze, 24—30 beim Chimpanse, Hund, Pferd, Schaaf) den unteren Augengrund durchbohren, zwischen Choroidea und Sclerotica emporsteigen und schliesslich

1) Bd. I. Th. 1. S. 281.

in der Substanz der Iris sich verlieren, nachdem sie auch die Choroidea und den Ciliarmuskel versorgt haben. An dem Ciliarmuskel bilden dieselben durch Anastomosirung und Faseraustausch ein reiches, mit zahlreichen kleinen Ganglien versehenes Netzwerk.

Der Sphincter hat seine stärkste Entwicklung bei den Vögeln. Wie schon vor längerer Zeit (von Krohn) festgestellt worden, bedeckt er hier die ganze Fläche der Iris vom Ciliarrande an bis zur Pupille. Dabei besitzen seine Fasern eine ansehnliche Dicke, besonders diejenigen, die der Ciliarzone zugehören, in welcher der Muskel überhaupt die grösste Ausbildung hat. Nur der äusserste Ring der Iris, der sich nicht selten auch durch seine Färbung und bisweilen sogar durch die freie Lage seiner Gefässe auszeichnet (die von Leydig nur mit Unrecht bezweifelt wird), ist ärmer an Fasern und bei den Eulen fast vollständig faserlos. Die beschuppten Amphibien besitzen nach Beobachtungen am Chamäleon gleichfalls einen weit über die Fläche der Iris ausgebreiteten, sonst aber nur wenig kräftigen Sphincter, während die Säugethiere und Fische ausschliesslich an dem Pupillarrande der Iris mit Ringfasern versehen sind. Unter den letzteren kenne ich den Sphincter freilich nur bei Argyropelecus und dem Hechte. In beiden Fällen hat derselbe eine sehr kümmerliche Entwicklung. Bei Argyropelecus sind es nur einige wenige Fasern, die in den freien Rand der sonst kaum von der Choroidea unterschiedenen Iris sich einlagern. Auch bei dem Hechte beschränkt sich der Muskel auf eine schmale Zone des pupillaren Randes, die noch dazu von reichlicher Bindesubstanz durchzogen wird und eine Anzahl kleiner Pigmentzellen in sich einschliesst.

Im Gegensatze zu diesem Sphincter bildet der Dilatator überall eine, wenn auch nur dünne, doch ziemlich continuirliche Schicht, welche der hintern Fläche der Iris, dicht unterhalb der Uvea aufliegt und von dem Ciliarringe bis zum freien Rande fortzieht. Beim Hechte gelang es freilich nicht, die zarten Fasern dieses Radiärmuskels über den Aussenrand des Sphincters hinaus zu verfolgen, aber sonst sieht man dieselben an geeigneten Präparaten nicht bloss über die Ringfasern hinlaufen, sondern damit auch vielfach in Verbindung treten. Am vordersten Rande, der übrigens auch bei den Säugethieren und Vögeln noch um Einiges von dem Sphincter überragt wird, bildet sich sogar ein förmliches System von arkadenartigen Anastomosen, die beide Muskeln so fest mit einander verbinden, dass eine Lösung derselben nicht möglich ist. Am Ciliarrande beobachtet man eine ähnliche Bildung, nur dass die Schlingen hier die radiären Fasergruppen selbst unter sich in Verbindung setzen. Zwischen denselben ziehen andere Fasern bis in das Bindegewebe des Ciliarringes, den man wohl als die Befestigungsstelle des *Musc. dilatator* zu betrachten hat. Bei den Vögeln sind die sich hier natürlich in ganzer Ausdehnung deckenden zwei Muskeln bisweilen (Dohlen, Hühner) so vielfach durch Faseraustausch verbunden, dass man (Dogiel) neben dem gewöhnlichen Dilatator noch einen zweiten inneren unterschieden hat, dessen Fasern den Bündeln des Sphincters in seinen verschiedenen Höhen entstammen und schief von Vorn nach Hinten die ganze Dicke der Iris durchziehen. Trotzdem steht übrigens die Entwicklung des Dilatators im Ganzen bei den Vögeln hinter der des Sphincters zurück und mitunter sogar (Taube, kleinere Singvögel) um ein sehr Beträchtliches, wie denn auch die Dicke seiner Fasern durchgehends eine weit geringere ist. Dasselbe gilt (nach H. Müller) für das Chamäleon.

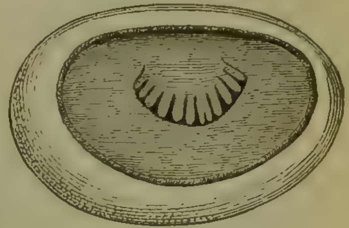
§ 42. Wir haben die Iris oben als eine Blendung bezeichnet, welche die Lichtstärke der Bilder regulire und die Randstrahlen von der Linse abhalte. Aber nicht bloss, dass die erstere dieser Functionen je nach der Contractilität der Blendung mancherlei Unterschiede darbietet, auch in Bezug auf die Linse ist das Verhalten keineswegs bei allen Wirbelthieren das gleiche. Es richtet sich dies theils nach der Breite der Iris, für die sich freilich nur schwer das richtige Maass finden lässt, da sie nicht bloss bei dem lebenden Thiere, sondern selbst im Tode mancherlei Schwankungen darbietet, theils auch nach der Grösse des äquatorialen Linsendurchmessers oder richtiger vielmehr nach dem Verhältnisse, den dieser zu dem Durchmesser des vorderen Verbindungstheiles, in den die Linse eingefügt ist, darbietet. Auf diese Weise kommt es dann, dass ein bald grösserer, bald auch kleinerer Theil des Linsenrandes von der Blendung bedeckt wird. Im Allgemeinen ist diese Zone bei den Säugethieren und Vögeln beträchtlicher, als bei den übrigen Wirbelthieren, besonders den Knochenfischen, bei denen der grössere Theil der vorderen Linsenhemisphäre in die vordere Augenkammer hervorragt, so dass die Pupille nur wenig hinter dem äquatorialen Querschnitte der Linse an Grösse zurücksteht. Bei den Säugethieren und Vögeln wird bei mittlerer Pupillenweite eine Randzone von durchschnittlich etwa dem dritten Theile des gesammten Linsendurchmessers bedeckt, so dass die Pupille nahezu dieselbe Breite besitzt, wie die Iris selbst. Je nach der Bildung der vorderen Linsenfläche hat deshalb denn auch die Iris dieser Thiere insofern eine verschiedene Lage, als sie bald, wie bei der Mehrzahl derselben, flach vor ihr sich ausbreitet, bald auch, wie bei den Raubthieren, besonders den Katzen und Eulen (Fig. 20, 21) nach Aussen conisch sich vorwölbt.

Die Pupille besitzt im Zustande starker Erweiterung bei allen Wirbelthieren eine rundliche Form. In der grössten Mehrzahl behält sie dieselbe auch bei der Verengerung, der Contraction also des Sphincters, aber in anderen tritt dabei eine mehr oder minder auffallende Formveränderung ein. Am häufigsten nimmt die Pupille dabei eine querovale Form oder die Gestalt einer senkrechten Spalte an. Die erstere namentlich bei zahlreichen Pflanzenfressern, den Pferden und Wiederkäuern, dem Känguruh und den Murmelthieren, aber auch den Walfischen und Rochen, die andere dagegen bei den Katzen, Füchsen, dem Krokodil, einigen Schlangen und Haifischen. Die Vögel haben mit Ausschluss der Eulen, die zu dem Verhalten der letztgenannten Thiere den Uebergang machen, und mehrerer hühnerartiger Vögel, die an die Verhältnisse der grösseren Pflanzenfresser anknüpfen, sämmtlich eine runde Pupille. Abweichungen von den bisher erwähnten Formen sind nur selten. So nähert sich z. B. die Gestalt der Pupille bei den Delphinen der bekannten Herzform, während sie bei den Fröschen und dem Salamander, den Geckonen u. a. ein fast rhombisches queres Oval bildet. Auch die centrale Lage der Pupille erleidet einzelne Ausnahmen, obwohl diese im Ganzen nur wenig auffallen. Hierher namentlich die Raubvögel, bei denen die Pupille um Einiges nach Innen, und die Rochen, bei denen sie nach Oben rückt. Auffallender Weise ist übrigens der obere Rand der Pupille bei den letzteren in einen blatt- oder handförmig zerschlitzten Fortsatz verlängert, der während der Ruhe in den oberen Theil der vorderen Augenkammer umgeschlagen ist, gelegentlich aber auch daraus hervortritt und dann schirm- oder vorhangartig die Pupille bedeckt und selbst völlig verschliessen kann. Eine ähnliche Einrichtung

kommt bei den Pleuronectiden vor. Sie dient offenbar zur Abhaltung der von oben einfallenden Lichtstrahlen und steht augenscheinlicher Weise mit der platten Körperform und der Haltung dieser Thiere während der Schwimmbewegung im Zusammenhang.

Bei mikroscopischer Untersuchung finde ich in diesem Vorhange (*Operculum pupillare*), und namentlich den fingerförmigen Fortsetzungen desselben bei dem Stachelrochen kräftig entwickelte Längmuskelzüge, die sich beim Zerzupfen isoliren lassen und durch die stäbchenförmige Gestalt ihrer Kerne leicht von den anliegenden bindegewebigen und zelligen Elementen unterscheiden. Sie bilden sonder Zweifel die Retractoren des Vorhanges. Die Entfaltung geschieht allem Vermuthen nach durch eine stärkere Füllung der Blutgefässe, die man als weite Canäle in den Fortsätzen bis an das Ende hin verfolgen kann. Die Innenfläche des Vorhanges ist tief schwarz gefärbt, während die Aussenfläche ganz das Aussehen und die Pigmentirung der übrigen Iris hat. Die letztere ist gleichfalls von Längsmuskelfasern durchzogen, die wie gewöhnlich der Uvea angenähert sind und in der untern Lippe eine ziemlich kräftige Entwicklung haben. Ein Sphincter liess sich mit Sicherheit nicht nachweisen.

Fig. 50.



Iris mit Pupillardeckel von Raja clavata (in situ).

Die bei den Pferden und der Mehrzahl der Wiederkäuer, so wie dem Narval vom oberen, gelegentlich auch unteren Pupillarrande hervorragenden zottenförmigen Pigmentflocken (Fig. 19), die sog. Traubenkörner oder Schwämmchen (*Flocculi*), dürfen trotz der Abwesenheit der Muskelfasern wohl gleichfalls dieser Gruppe von Bildungen zugerechnet werden.

Zum Schlusse erwähnen wir noch die sonderbare Thatsache, dass die Pupille von Anableps tetrophthalmus unter der schon oben (S. 210) erwähnten Hornhautbinde durch eine quere Brücke in zwei einander anliegende halbmondförmige Oeffnungen getheilt, also doppelt ist. Die untere kleinere Pupille soll nach der Vermuthung Lacepède's beim Schwimmen in der Tiefe verschlossen werden. Dass es sich bei dieser Bildung übrigens um keine wirkliche Verdoppelung, sondern nur eine nachträgliche Theilung handelt, geht aus der Angabe Sömmering's hervor, dass beide Pupillen bei jüngeren Exemplaren noch durch eine schmale Spalte in Verbindung stehen.

4. Retina.

H. Müller, Anatomisch-physiol. Untersuchungen über ie Retina des Menschen und der Wirbelthiere. Zeitschrift für wissensch. Zoologie. 1857. Bd. VIII. S. 1—122. (Ges. Schrift. I. S. 52 ff.)

M. Schultze, Zur Anatomie und Physiologie der Retina. Archiv für mikroscopische Anatomie. 1866. Bd. II. S. 165.

——, Neue Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Retina. Ebendas. 1871. Bd. VII. S. 244.

——, Ueber Stäbchen und Zapfen der Retina. Ebendas. Bd. III. 1867. S. 215.

——, Art. Retina in Stricker's Handbuch der Gewebelehre. 1871. Bd. II. S. 977—1031.

Hulke, On the retina of amphibia and reptiles. Journ. anat. and physiol. 1866. p. 94.
Landolt, Beitrag zur Anatomie der Retina vom Frosch, Salamander und Triton. Archiv für mikrosc. Anat. Bd. VII. S. 81.
Dobrowolsky, Zur Anatomie der Retina. Archiv für Anatomie und Physiologie. 1871. S. 221.
——, Die Zappelzapfen. Ebendas. S. 208.
Talma, Over de kegels en hunne gekleurde kogels in het netvlies van vogels. Onderzoek. physiol. laborat. Utrechtsche hoogeschool. 1873. T. II. p. 259.
H. Müller, Ueber das ausgedehnte Vorkommen einer dem gelben Flecke der Retina entsprechenden Stelle bei Thieren. Würzburger naturwissensch. Zeitschrift Bd. II. 1861. S. 139. (Ges. Schriften Bd. I. S. 138.)
——, Ueber das Vorhandensein zweier Foveae in der Netzhaut vieler Vogelaugen. Zehender's klin. Monatsbl. 1863. S. 438. (Ges. Schriften I. S. 142.)
——, Notiz über die Netzhautgefässe bei einigen Thieren. Würzburger naturw. Zeitschr. Bd. II. 1861. S. 64. (Ges. Schr. Bd. I. S. 137.
Hyrtl, Ueber anangische Netzhäute. Sitzungsber. der Wiener Akad. Bd. 43. Abth. I. S. 207—212. 1861.

§ 43. Die Retina entsteht durch eine flächenhafte Ausbreitung des Sehnerven. Sie ist bei allen Wirbelthieren eine dünne und im Leben völlig durchsichtige, zarte Membran, die der Innenfläche der Choroidea aufliegt und den becherförmigen Augengrund bis zum Rande des Verbindungstheiles bekleidet. Je nach der Grösse des Augengrundes hat sie demnach denn auch bei den einzelnen Arten eine verschiedene Ausdehnung, wie das bei der Vergleichung z. B. des Luchses (Fig. 26) mit dem Pferde (Fig. 19), des Uhu (Fig 21) mit dem Strauss (Fig. 22) auf den ersten Blick ins Auge fällt.

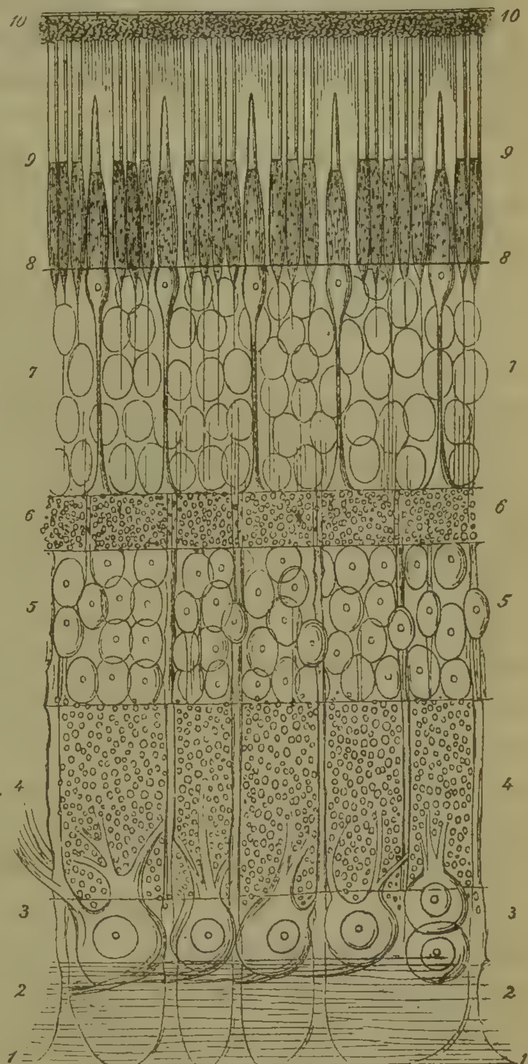
Als unmittelbare Fortsetzung des Opticus besteht dieselbe wie dieser natürlich zunächst aus Nervenfasern und einer Bindesubstanz (Neuroglia), die sich als stützendes Gewebe zwischen die nervösen Elementartheile einschiebt. Beide unterscheiden sich freilich nach Aussehen und Beschaffenheit vielfach von dem früheren Verhalten und zeigen so eigenthümliche Complicationen, dass die histologische Analyse der Retina zu den schwierigsten Aufgaben der mikroscopischen Forschung gehört. Es gilt das freilich weniger von der eigentlichen Faserschicht, die zunächst durch die becherförmige Entfaltung des Sehnerven gebildet ist, als von der nach Aussen darauf aufliegenden Lage, die von den rechtwinklig aus dem früheren meridionalen Verlaufe abbiegenden Fasern durchsetzt wird, und noch mancherlei anderweitige Elementartheile in sich einschliesst. Die einen dieser letzteren ergeben sich als Ganglienzellen, welche in verschiedener Höhe in den Verlauf der Nervenfasern sich einschieben, die anderen aber als Theile eines Sinnesepithels mit Endorganen, welche in Form einer continuirlichen Lage dünner Stäbchen (der früher sog. Jacobson'schen Membran) pallisadenförmig neben einander stehen und mit ihren Köpfen in die der Choroidea aufsitzenden sechseckigen Pigmentzellen eintauchen.

Die Ganglienzellen bilden zwei durch eine Schicht granulirter Substanz von einander getrennte Lagen, von denen die innere mit den meist grösseren Zellen an der Umbiegungsstelle der Fasern gefunden wird und diese Umbiegung vermittelt, während die andere (die sog. innere Körnerschicht) in einiger Ent-

fernung nach Aussen darauf folgt. Durch eine neue Schicht granulirter Masse (die sog. Zwischenkörnerschicht) wird diese dann von der sog. äusseren Körnerlage getrennt, die sich aus langgestreckten mehr oder minder schlanken, mitunter selbst faserartigen kernhaltigen Zellen zusammensetzt, welche entweder alle oder doch zum grossen Theile je in ein stäbchenförmiges Endorgan auslaufen.

Die früheren Beobachter haben diese sog. äussere Körnerlage mit der Stäbchenschicht gewöhnlich gleichfalls als ein nervöses Gebilde betrachtet, allein es kann nach der Analogie mit den übrigen Sinnesorganen wohl keinem Zweifel unterliegen, dass man dasselbe, wie es auch oben geschehen ist, richtiger als sog. Sinnesepithel auffasst. Ich habe diese Deutung schon seit längerer Zeit in meinen Vorlesungen vertreten und sehe, dass sich auch SCHWALBE in seinem, dem ersten Theile dieses Werkes (S. 345 ff.) einverleibten vortrefflichen Artikel über den Bau der Retina, auf den ich hier in allen die feinere Anatomie betreffenden Fragen verweisen muss, angeschlossen hat. Zu dieser Auffassung werden wir schon durch den Umstand gezwungen, dass sämmtliche Sinnesorgane im Grunde genommen nichts Anderes als eigenthümlich modificirte Hauttheile sind, mit Epithelzellen, die einerseits durch Entwicklung specifischer Endorgane (Sinneshaare, Stäbchen) zur Aufnahme von äusseren Eindrücken geeignet sind und andererseits durch ihre Verbindung mit dem Nervensysteme die Fähigkeit gewinnen, ihre Zustände zur Perception zu bringen. Ob diese Hautstellen, wie es bei den einfachsten Formen auch der höheren Sinnesorgane so vielfach vorkommt, in der Fläche der gewöhnlichen peripherischen Körperhülle liegen, ob sie buckelförmig nach Aussen hervorragen oder nach Innen vielleicht bis zum vollständigen Abschluss in das unterliegende Gewebe sich einsenken, — alle diese Formen sind bekanntlich (vergl. Cap. I) auch bei den Gesichtsorganen der Thiere vertreten, — ändert Nichts an der Natur derselben. Vielleicht allerdings, dass man in unserm Falle die Lage der Stäbchenschicht an der äusseren, der Haut also abgewandten Fläche der Retina — dass sich die Wirbellosen in dieser Beziehung anders verhalten, werden wir später sehen — gegen die Anwendbarkeit unserer Deutung geltend machen wollte. Allein diese Lage er-

Fig. 51.



Schematischer Durchschnitt der Retina des Menschen (nach Fig. 344 M. Schultze's in Stricker's Gewebelehre). Die Dicke der Schichten ist nach den Messungen H. Müller's berechnet. 1) Membrana limitans interna. 2) Nervenfaserschicht. 3) Ganglienzellenschicht. 4) Innere granulirte Schicht. 5) Innere Körnerschicht. 6) Aeussere granulirte Schicht. 7) Aeussere Körnerschicht. 8) Membrana limitans externa. 9) Stäbchen- und Zapfenschicht. 10) Pigmentepithel.

klärt sich zur Genüge aus dem Umstande, dass die Augenblase der Wirbelthiere sich nicht direct aus der Hautschicht bildet, sondern zunächst durch Ausstülpung aus dem Medullarrohr hervorgeht, das erst seinerseits als ein Anhangsorgan der epidermoidalen Keimlage seinen Ursprung genommen hat (vergl. Th. II, S. 7). Ebenso wenig kann der genetische Zusammenhang zwischen dem rein nervösen und dem neuroepithelialen Theile der Retina gegen unsere Auffassung geltend gemacht werden, denn die Zellen der primitiven Augenblase, die denselben zeigen, sind anfangs bestimmt nur indifferenter Natur und ebensowohl fähig, in nervöse, wie in epitheliale Gebilde sich umzuwandeln. Ebenso gehen ja im Medullarrohre aus den ursprünglich ganz gleichartigen und zusammenhängenden Zellen nicht bloss nervöse, sondern auch bindegewebige und epitheliale Elementartheile hervor.

Wenn wir den Bau der Retina nach diesen Bemerkungen schematisch uns veranschaulichen wollen, dann dürfen wir sagen, dass dieselbe ein becherförmig ausgebreitetes peripherisches Ganglion darstelle, dessen hintere Fläche mit einem aus Zellen und Stäbchen bestehenden Neuroepithel überzogen sei.

Die Lichtstrahlen müssen bei den Wirbelthieren also, bevor sie auf die Stäbchen wirken und die Sinnesempfindung erregen, durch die gesammten übrigen Schichten der Retina hindurchdringen. Obwohl die optische Beschaffenheit der letzteren diesem Durchtritte nicht die geringsten Hindernisse bereitet, so könnte man doch der Meinung sein, dass die entgegengesetzte Lage, bei der ein solcher Durchtritt nicht nöthig sein würde, die einfachere und natürlichere sei. Allein andererseits muss man berücksichtigen, dass die Neuroepithelschicht durch die jetzige Lage in eine nähere Beziehung zu der Choroidea gebracht wird, zu jener Membran also, die als die wichtigste Matrix der gesammten inneren Organe des Auges zu betrachten ist. Da unter solchen Umständen die Ernährungsverhältnisse des Sinnesepithels (das nach Epithelart auch da keine Gefässe enthält, wo die übrigen Schichten der Retina mit solchen versehen sind) sich voraussichtlicher Weise viel günstiger gestalten, als es sonst möglich sein dürfte, so ergiebt sich das eigenthümliche Lagenverhältniss der Stäbchenschicht mit den zugehörigen Zellen bei den Wirbelthieren als ein weiterer wichtiger Zug in der Summe jener Veranstaltungen, durch welche die Augen dieser Thiere zu ganz besonders geschickten Sehwerkzeugen werden.

Sollen die Stäbchen übrigens wirklich das Sehen vermitteln, wie seit den bahnbrechenden Arbeiten H. Müller's über die Retina heute wohl überall angenommen wird, dann müssen dieselben mit den die Erregung fortleitenden Nervenfasern in continuirlicher Verbindung stehen. Die Ausstrahlungen der Sehnervenfasern müssen also direct in die Neuroepithelzellen sich fortsetzen. Ein solcher Zusammenhang ist bis jetzt freilich noch nicht mit Sicherheit beobachtet, aber trotzdem ist derselbe — falls unsere heutigen Anschauungen von dem elementaren Baue der Sinnesorgane überhaupt richtig sind — nicht minder nothwendig, wie in den übrigen Sinnesorganen, für die dieser Nachweis zum Theil auch schon viel vollständiger geliefert ist.

Die Geschichte der Entdeckungen über die Retina möge man in dem schon oben angezogenen Artikel von Schwalbe vergleichen. Wir erwähnen hier nur so viel, dass es Treviranus war, der zuerst die Stäbchen der Retina, die übrigens

(beim Frosch) schon von Leeuwenhoek gesehen waren, irrthümlicher Weise aber nach Innen auf die Retina versetzt wurden, als die eigentlich empfindenden Theile (Papillen der Netzhaut) in Anspruch genommen hat. Vor Allem sind es übrigens die Untersuchungen von H. Müller, die, gleich ausgezeichnet durch die Fülle des Materials, wie durch die Neuheit der Gesichtspuncte, unsere Kenntnisse über die Retina klärten, und unseren Anschauungen einen festeren Boden gaben. Auch das Wenige, was wir über die vergleichende Anatomie der Netzhaut kennen, verdanken wir fast ausschliesslich den Arbeiten dieses trefflichen Forschers.

§ 44. Die Verbindungsstelle des Sehnerven mit der Retina correspondirt natürlicher Weise mit der Lage der Durchtrittsöffnung an der Sclerotica, über die wir schon bei einer früheren Gelegenheit (§ 24) gehandelt haben. Ebendaselbst wurde auch bereits die Thatsache erwähnt, dass der Nerv bald nahezu rechtwinklig an den Bulbus herantritt, bald auch damit einen mehr oder minder spitzen Winkel bildet. Das letztere geschieht namentlich bei den Vögeln und einer Anzahl von Knochenfischen, den Forellen, Hechten, Häringen, Barschen, Schellfischen, dem Mondfische u. a., besonders also solchen Arten, die sich, wie die Vögel durch den Besitz eines Fächers, so durch einen kräftigen Sichelfortsatz vor den übrigen auszeichnen.

In dem ersteren dieser Fälle repräsentirt die Verbindung mit der Retina einfach den Querschnitt des Sehnerven. Sie bildet also eine Scheibe von kreisrunder oder nahezu kreisrunder Form, die jedoch in ihren Dimensionen hinter denen des Opticus zurücksteht, da das bindegewebige Gerüste des letzteren in seiner früheren Form und Entwicklung beim Durchtritte durch die Sklera verloren geht. Die einzige auffallende Ausnahme von diesem Verhalten zeigt das Murmelthier, bei dem die Verbindung mit der Retina, in Uebereinstimmung mit der platten Form des Sehnerven (S. 168) durch einen Streifen vermittelt wird, welcher bei einer Breite von 0,7 Mm. nicht weniger als 10 Mm. lang ist und quer durch den Augengrund hinzieht. Da die Opticusfasern nun von der Eintrittsstelle nach allen Richtungen ziemlich gleichmässig ausstrahlen und die äusseren Fasern damit den Anfang machen, so erklärt es sich auch, dass die Scheibe besonders der grösseren Thiere mit dickerm Sehnerven in Form eines flachen Zäpfchens nach Vorn vorspringt. Die Eintrittsstelle des Opticus markirt sich im Grunde der Retina also oftmals als eine Papille, die nicht selten sogar bei den Säugethieren (namentlich u. a. bei dem Hasen) durch den Austritt der *Arteria centralis retinae* und ein gleichzeitiges Auseinanderweichen der Nervenfasern im Centrum kraterartig sich aushöhlt.

Anders aber bei denjenigen Thieren, bei denen eine spitzwinklige Vereinigung des Opticus mit der Retina stattfindet. Hier bildet die Verbindungsstelle, wie schon Haller wusste, einen schwanz- oder federartig zugespitzten Streifen, der statt des Querschnittes einen Diagonalschnitt durch den Sehnerven darstellt, und sicherlich auch die Form eines mehr oder minder langgezogenen Ovales haben würde, wenn er während seines Verlaufes nicht immerfort Fasern abgäbe und dadurch immer schmächtiger würde. Die Stelle, an der dieser Streifen hinzieht, ist dieselbe, die wir oben als die Anheftungs-

stellen des Fächers und Sichelfortsatzes kennen gelernt haben, indem beide direct auf dem Streifen aufsitzen. Durch diese eigenthümliche Art der Verbindung erleitet begreiflicher Weise auch die Anordnung der in die Retina übertretenden Nervenfasern insofern eine Abweichung, als dieselbe nur an dem abgerundeten Kopfe des Streifens, wie früher, radiär bleibt, während sich an den gegenüberliegenden Längsseiten eine mehr bilaterale Gruppirung hervorbildet. Bei den Vögeln, bei denen der Streifen durch den breiten Fächer vollständig gedeckt wird, hat es dabei den Anschein, als wenn die Fasern direct vom letzteren ausstrahlten. Nach den Beobachtungen Schwalbe's findet sich dabei übrigens die eigenthümliche Erscheinung, dass die Fasern vorher einer Kreuzung unterliegen, in Folge deren die der rechten Opticushälfte nach Links und umgekehrt die der linken nach Rechts verlaufen. Auch bei den Neunaugen gehen die Fasern des Sehnerven in der Dicke der Retina eine Kreuzung ein, die hier aber, der senkrechten Insertion entsprechend, nicht zweiseitig, sondern allseitig ist, so dass nicht bloss die Nervenfasern der rechten Opticushälfte nach Links, sondern auch die der obern nach Unten übertreten (Langerhans). Dabei soll die Eintrittsstelle, so gut wie die Faserschicht der Retina ungewöhnlicher Weise mit einer dicken Lage granulirter Substanz bedeckt sein, während beide doch sonst nur von einer zarten, dem Stützgewebe zugehörenden Glashaut (der sog. *Membr. limitans interna*) überzogen werden.

Da die Fasern der Netzhaut sämmtlich von der Eintrittsstelle des Opticus ausgehen und auch die peripherischen Partien noch in dichtgedrängter Lage davon überzogen sind, so ist begreiflich, dass die Dicke der Faserlage in der nächsten Umgebung des Sehnerven am ansehnlichsten ist und nach dem Strahlenkörper zu allmählich abnimmt. In den übrigen Schichten der Retina ist diese Dickenabnahme kaum merklich, und so kommt es denn, dass die eigentliche (nervöse) Retina an der Wurzel des Strahlenkörpers ziemlich plötzlich aufhört. An Spirituspräparaten, in denen die Nervensubstanz durch Gerinnung ein weisses Aussehen angenommen hat, erkennt man die Grenze der Retina als einen scharf gezeichneten, mehr oder weniger ausgezackten Randwulst (*Ora serrata*), der ringförmig um das vordere Ende des Augengrundes herumläuft. Es bedarf erst der genaueren, namentlich auch mikroscopischen Untersuchung, um sich davon zu überzeugen, dass die bindegewebigen Elemente der Retina — wenigstens die oben erwähnte Limitans mit einer darunter hinziehenden Zellenlage, deren Elemente wahrscheinlich den radiären Stützfasern entsprechen, welche (nach Schultze) zwischen den in gleicher Richtung verlaufenden peripherischen Nervenfibrillen die Dicke der äusseren Retinaschicht durchsetzen — über diese Grenzlinie hinaus auf den Strahlenkörper übertreten und die Pigmentlage desselben bis zur Iriswurzel bekleiden.

Wenn wir der Retina, und damit auch der Faserschicht, oben eine vollkommen durchsichtige Beschaffenheit vindiciren konnten, so beweist das schon zur Genüge, dass die Opticusfasern bei dem Uebertritte in dieselbe ihre früheren Eigenschaften ändern. Und so ist es auch. Bis dahin von der gewöhnlichen Bildung peripherischer Nervenfasern, verlieren dieselben in der Retina alsbald ihre Markscheide und zwar in der Regel so vollständig, dass sie bloss noch als Achsencylinder von einer, wenngleich mehrfach wechselnden, im Ganzen aber doch nur unbedeutenden Dicke existiren. Bei Fischen (Leydig) und Vögeln

(Schultze) verbleibt darauf in vielen Fällen allerdings noch eine dünne Lage von Marksubstanz, aber sie ist so zart, dass sie das Aussehen der Netzhaut in keiner Weise beeinträchtigt.

Bei manchen Säugethieren (z. B. solchen aus der Gruppe der Wiederkäuer und Nager) geschieht übrigens der Schwund der Markhülle an einzelnen Stellen erst nach dem Durchtritte durch die Sklera, so dass die nächste Umgebung der *Papilla optici* ein fleckiges Aussehen hat. Bei dem Hasen erstrecken sich sogar zwei breit ausstrahlende Bündel markhaltiger Fasern rechts und links quer durch die Retina hindurch, wie das schon von einem der ersten genaueren Untersucher des Auges, von Zinn, vor einem Jahrhundert bemerkt ist. Freilich hat es den Anschein, als ob die dadurch bedingte Trübung das Sehen nicht vollständig behindere. Man kann sich wenigstens leicht davon überzeugen, dass die betreffenden Stellen der Netzhaut ganz in gewöhnlicher Weise mit einem Stäbchenbesatz versehen sind.

Noch durchsichtiger und feiner übrigens, als diese meridionalen Fasern, sind diejenigen, welche in radiärer Richtung die äusseren Lagen der Retina durchsetzen. Sie entspringen aus den Zellen der inneren Ganglienschicht, die je dem Ende einer Meridionalfaser ansitzen, sind also auch mit diesen in continuirlichem Zusammenhange und lassen sich bis in die äussere granulirte Schicht hinein verfolgen, in der sie sich vermuthlich, wie oben angedeutet wurde, mit den epithelialen Faserzellen der Stäbchen in Verbindung setzen. Die äusseren Ganglienzellen sind in die Continuität derselben eingelagert. [1])

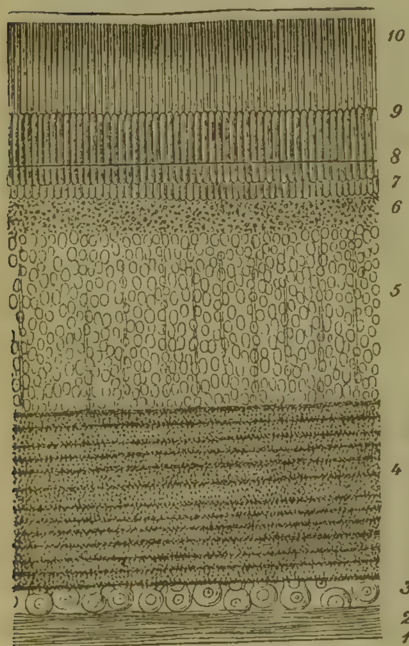
§ 45. Die Ganglienzellen und Körner und anderen Gewebselemente der Retina sind überall bei den Wirbelthieren sehr regelmässig in Schichten geordnet, die der meridionalen Faserlage parallel laufen und den mikroscopischen Querschnitten bei schwacher Vergrösserung ein eigenthümliches gebändertes Aussehen geben, das um so leichter ins Auge fällt, als die einzelnen Schichten abwechselnd ein bald helleres (Stäbchenlage, äussere und innere granulirte Schicht, Faserschicht), bald auch dunkleres (äussere und innere Körnerlage, Ganglienschicht) Aussehen besitzen. Die Zahl und Reihenfolge dieser Schichten ist, vielleicht mit Ausnahme der Neunaugen, bei allen Arten die gleiche. Bei den genannten Fischen ist, wie wir schon oben bemerkten, die meridionale Faserschicht nach Aussen von der *Granulosa interna*, also in die Tiefe der Retina verlegt; es soll bei ihnen aber auch die Ganglienschicht — Schultze bezeichnete nur die innere Ganglienschicht als solche, während die äussere als innere Körnerschicht benannt wurde — zwischen die äussere Granulosa und die innere Körnerschicht sich einschieben (Schultze, Langerhans). Ob die der Angabe zu Grunde liegende Deutung freilich die richtige ist, steht dahin. Wenn man der Beobachtung von H. Müller sich erinnert, nach der bei dem Barsch und anderen Fischen zwischen äusserer Granulosa und innerer Körnerschicht, also gerade da, wo die aus zwei Lagen bestehende Ganglienschicht bei den Neunaugen vorkommen soll, eine gleichfalls aus zwei Lagen bestehende Schicht ganglienartiger Zellen gefunden wird, die mit den Nervenapparaten keinerlei Gemeinschaft haben — ähnliche Zellen sind hier übrigens auch bei anderen höheren und niedrigen Wirbelthieren vorhanden —, dann fühlt man sich vielleicht um so mehr geneigt,

1) Vgl. Schwalbe Th. 1. S. 446. Fig. 51.

die Gangliennatur der fraglichen Gebilde bei den Neunaugen in Zweifel zu ziehen, als Langerhans in den innern Lagen der *Granulosa interna* gleichfalls zwei Reihen von Zellen zeichnet, die ihrer Anordnung nach mit den gewöhnlichen innern Ganglienzellen der Wirbelthiere und insbesondere der Fische übereinstimmen. Die Annahme, dass diese letzteren auch wirklich als Ganglienzellen zu betrachten seien, gewinnt noch dadurch an Wahrscheinlichkeit, dass Langerhans die meridionalen Nervenfasern zum grossen Theil nach Innen, also in der Richtung dieser Zellen aus der Faserschicht abbiegen lässt.

Trotz aller Uebereinstimmung aber fehlt es in den Schichten der Retina auch nicht an Unterschieden, nur dass sich diese in verhältnissmässig untergeordnetem Verhältnisse, wie namentlich der Dicke, d. h. der Zahl und Grösse der die Schichten bildenden Elementartheile, aussprechen. So zeigt z. B. die innere Ganglienschicht der Fische durchweg eine Zusammensetzung aus zwei und selbst drei Lagen, während die höheren Wirbelthiere deren für gewöhnlich — nur die *Macula lutea* macht in dieser Hinsicht eine Ausnahme — bloss eine einzige aufweisen. Allerdings haben die Fische dafür auch Ganglienzellen von ziemlich ansehnlicher Grösse, jedenfalls grössere, als die Vögel und Amphibien, aber dasselbe gilt auch für die Säugethiere. Walfisch und Elephant haben sogar von allen Wirbelthieren die grössten. Es sind übrigens zunächst nur die Zellen der inneren Ganglienschicht, die wir dabei im Auge haben, denn die der äusseren sind für gewöhnlich nicht unbeträchtlich kleiner. Da sie überdiess bloss bipolar erscheinen, während die inneren Ganglienkugeln entschieden den sog. multipolaren zugehören, wurden sie früher gewöhnlich als »Körner« bezeichnet, wie die Kerne des Neuroepithels, und diesen damit gleichgestellt. Wie wenig gerechtfertigt indess ein solches Verfahren war, beweist vor allen anderen vielleicht der ob der sonderbaren Bildung seiner Augen schon mehrfach von uns erwähnte Argyropelecus, bei dem die Elemente der sog. äusseren Körnerschicht sich als deutliche Epithelzellen ergeben, während die sog. inneren Körner nach Grösse und Aussehen vollkommen mit den inneren Ganglienkugeln übereinstimmen. Trotz der geringeren Grösse bilden die äusseren Ganglienzellen (Fig. 52 eine Schicht von beträchtlicher Dicke, in der sich meist 6—8 Lagen (beim Menschen nur etwa 4—5) unterscheiden lassen. Da die äusseren Ganglienzellen somit in viel grösserer Menge vorhanden sind als die inneren, so müssen dieselben natürlich auch mit den Retinafasern in einem anderen Verhältnisse stehen, sei es nur der Art, dass je eine innere Ganglienkugel mit mehreren äusseren zusammenhängt, in letzter Instanz also auch mehrere Stäbchen versorgt, oder der Art, dass eine Anzahl Fasern — deren Menge ja überdiess die Zahl der inneren Ganglienkugeln für gewöhnlich um ein Bedeutendes übertreffen dürfte — eine Verbindung bloss mit den äusseren Zellen eingeht.

Fig. 52.



Schnitt durch die Netzhaut des Falken. Bezeichnung der Schichten wie in Fig. 51.

Die innere granulirte Schicht, die sich zwischen beide Ganglienmassen einschiebt, hat meist gleichfalls eine beträchtliche Dicke; sie ist nicht selten sogar (besonders bei Fischen) von allen Schichten die ansehnlichste. Allerdings findet man auch Ausnahmen, wie bei Argyropelecus und dem Menschen, bei denen die Dicke nur etwa die Hälfte der sonst gewöhnlichen betragen mag. In allen Fällen aber ist dieselbe sehr viel bedeutender, als die der sog. *Granulosa externa*, die übrigens nur den Namen und das helle Aussehen mit ihr gemein hat, in ihrem histologischen Verhalten aber gänzlich verschieden ist.

Was schliesslich die sog. äussere Körnerlage betrifft, so erreicht diese bei den Säugethieren ihre grösste Entwicklung. Sie besteht hier aus mehr oder minder schlanken, selbst faserartigen Zellen, deren Kerne etagenweis über einander liegen, so dass die Gesammtdicke beträchtlicher wird, als die der sog. inneren Körnerlage. Aehnlich verhält es sich bei zahlreichen Fischen, während andere, wie der Stör (Schultze) und Argyropelecus nicht mehr als zwei Kernschichten erkennen lassen. Bei den Amphibien und Vögeln geht die Zahl derselben gewöhnlich gleichfalls nicht (oder nur um Weniges) über zwei hinaus.

§ 46. Die interessanteste und in gewisser Beziehung wichtigste unter den verschiedenen Schichten der Retina ist sonder Zweifel die Stäbchenschicht. Sie repräsentirt den lichtaufnehmenden Apparat des Auges, wie schon daraus hervorgeht, dass sie durch die mosaikartige Zusammenfügung ihrer Elemente von allen Theilen des Auges allein den Anforderungen entspricht, die wir an einen solchen zu machen haben.

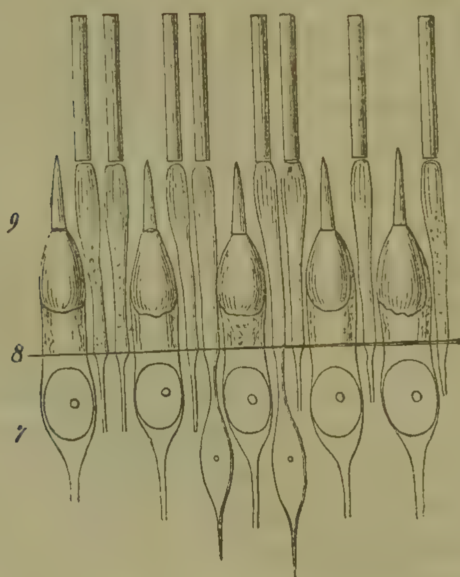
Die Stäbchen, welche in dicht gedrängter Menge diese Schicht zusammensetzen, sind glashelle Säulen, die (Fig. 51) pallisadenförmig neben einander stehen und mittelst eines deutlich abgesetzten schlanken Grundstückes (des Innengliedes) einer zarten Glashaut, der sog. *Limitans externa*, verbunden sind, die sie mit ihrem centralen Ende durchbohren, um dann je mit einer Zelle der dahinter sich ausbreitenden Neuroepithellage in Verbindung zu treten. Die Substanz, welche dieselbe bildet, dürfte dem sog. Cuticulargewebe zugehören, also dieselbe sein, wie die der Riech- oder Gehörhärchen, die ja auch die percipirenden Endorgane von Sinnesnerven darstellen. Die Länge beträgt durchschnittlich etwa 0,05 Mm., in der Tiefe des Auges gewöhnlich etwas mehr, am Rande der Netzhaut meist weniger, doch giebt es auch Fälle, in denen dieselbe (besonders bei Fischen, wie z. B. dem Barsch) auf das Doppelte und noch mehr steigt, während sie in anderen (z. B. der Taube und den Vögeln überhaupt) mehr oder minder beträchtlich abnimmt. Noch auffallender, als die absolute Länge, wechselt das Verhältniss zu der Dicke der übrigen Schichten der Netzhaut. Bei den Säugethieren nimmt die Stäbchenlage etwa den vierten Theil der Gesammthöhe in Anspruch (bei dem Menschen etwas weniger), allein bei den niederen Wirbelthieren steigt dieselbe auf ein Dritttheil, bei Argyropelecus sogar auf die Hälfte, so dass die Stäbchenschicht allein so hoch ist, wie die gesammte übrige Masse der Retina zusammengenommen. Dabei haben die Stäbchen von Argyropelecus eine nur unbedeutende Dicke, dieselbe etwa, die wir bei dem Menschen und der Mehrzahl der Säugethiere finden (etwa 0,002 Mm.), obgleich die Kaltblüter doch sonst gewöhnlich in dieser Hinsicht weniger günstig ausgestattet sind. Bei den Fröschen und Salamandern, welche von allen Wirbel-

thieren die dicksten Stäbchen besitzen, beträgt der Querdurchmesser sogar das Dreifache (0,006 Mm.), so dass auf dem Raume eines Quadratmillimeters nur etwa 30,000 Stäbchen beisammen stehen, während der Mensch deren auf demselben Raume an 250,000 besitzt. Auch die Vögel stehen in Betreff der Zahl ihrer optischen Empfindungspuncte hinter den Säugethieren zurück, indem sie (Taube) auf einem Quadratmillimeter nur etwa die Hälfte der Stäbchen aufweisen, wie die Säugethiere. Uebrigens finden sich auch unter den letzteren in dieser Hinsicht manche auffallende Differenzen, wie z. B. bei den Ratten, deren Stäbchen (von allen bisher untersuchten die feinsten) 0,001 Mm. messen, auf der Fläche eines Quadratmillimeters also in einer Million neben einander Raum haben. In den (blinden) Jugendformen der Neunaugen sollen die Stäbchen nach Langerhans vollständig fehlen, obwohl die ausgebildeten Thiere dieselben in gewöhnlicher Entwicklung aufweisen. Gleichzeitig stehen auch die übrigen Schichten der Retina sowohl an Dicke, wie an Ausbildung der Elemente hinter denen des reifen Thieres zurück.

Das basale Innenglied, dessen wir an den Stäbchen oben erwähnten, besitzt ein schwächeres Lichtbrechungsvermögen, als das Aussenglied und nimmt sehr bald unter dem Mikroscope eine feinkörnige Trübung an. An der Aussenfläche erkennt man bisweilen eine zarte Längsstreifung, die (nach Schultze) von dünnen Fibrillen herrührt, welche von der *Limitans externa* ausgehen und wahrscheinlicher Weise zur Befestigung dienen. Die Länge ist in der Regel beträchtlich, oftmals so gross oder noch grösser, als die des Aussengliedes, doch fehlt es auch nicht an Beispielen des gegentheiligen Verhaltens (Nachtthiere, Batrachier, Argyropelecus).

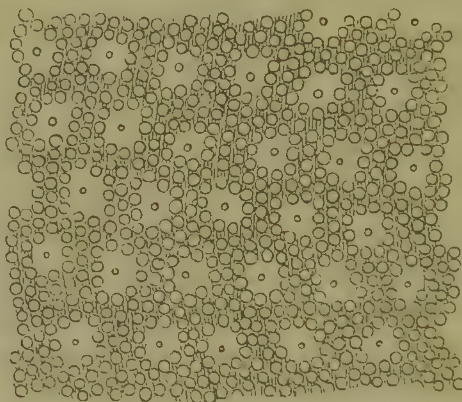
Bei näherer Untersuchung unterscheidet man übrigens in der Stäbchenschicht der Wirbelthiere neben und zwischen den bisher betrachteten genuinen

Fig. 53.



Stäbchen und Zapfen aus der Retina des Schweines (nach M. Schultze). 7 äussere sog. Körnerschicht, 8 Limitans externa, 9 Stäbchen und Zäpfchen.

Fig. 54.



Mosaik der Stäbchen und Zapfen aus der Netzhaut des Menschen (nach M. Schultze.

Stäbchen noch Gebilde, die in einiger Beziehung abweichen und seit Hannover's Untersuchungen meist mit dem Namen der Zäpfchen bezeichnet werden. Sie sind

kürzer, als die ersteren, mit einem mehr bauchig aufgetriebenen Grundgliede und einem konisch verjüngten Aussengliede versehen und in der Regel ziemlich scharf, ja bisweilen, wie z. B. beim Schweine, sehr auffallend gegen die gewöhnlichen Stäbchen abgesetzt. Freilich giebt es auch Fälle, in denen die Zäpfchen und Stäbchen ähnlicher werden, sei es nun, weil die Innenglieder der ersteren kaum dicker oder sonst anders geformt sind, als die der Stäbchen (Meerschweinchen, Kaninchen), oder weil die konische Zuspitzung des Aussengliedes weniger hervortritt (Vögel). Dazu kommt, dass sich die letztere mitunter auch an den Endgliedern der gewöhnlichen Stäbchen findet, wie bei den Batrachieren, besonders den Tritonen.

Ueber das Vorkommen und die Vertheilung der Zäpfchen haben wir besonders durch die Untersuchungen von M. Schultze eine Reihe der interessantesten Aufschlüsse erhalten. Wir wissen seitdem, dass die Mehrzahl der Wirbelthiere beiderlei Gebilde neben einander besitzt, wenngleich die Zäpfchen an Zahl gewöhnlich sehr beträchtlich zurückbleiben. Sie stehen in grösseren Abständen zwischen den Stäbchen und zwar der Art angeordnet, dass (Fig. 54) je eines derselben von einem mehrfachen Kranze der letzteren umfasst wird. Die Regelmässigkeit dieser Bildung tritt — bei Flächenansichten — namentlich dann hervor, wenn das Innenglied der Zäpfchen, wie besonders bei den Säugethieren, stark aufgetrieben ist und die benachbarten Stäbchen dann durch einen kleinen Zwischenraum abgetrennt werden. In der Nähe des sog. gelben Fleckes wird die Zahl der Zäpfchen allmählich grösser, während die Menge der zwischenstehenden Stäbchen immer mehr abnimmt, bis in der eigentlichen *Fovea centralis* schliesslich nur noch Zäpfchen gefunden werden. Wie die Randzone der *Macula lutea*, so verhält sich in Betreff der Vertheilung von Zäpfchen und Stäbchen bei den Vögeln gewöhnlich die gesammte Netzhaut, indem die Menge der ersteren überall beträchtlich überwiegt. Bei zahlreichen Eidechsen, Schlangen und Schildkröten, vielleicht selbst allen beschuppten Amphibien, fehlen die Stäbchen sogar vollständig, so dass die Netzhaut ausschliesslich Zapfen trägt.

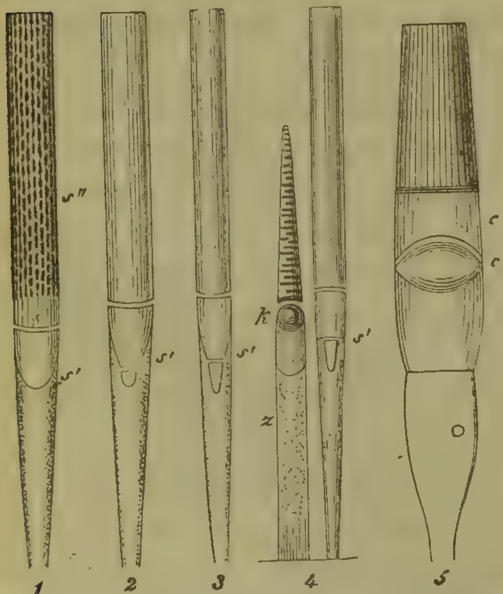
Unter gewissen Umständen ist aber auch das Gegentheil zu beobachten, besonders bei solchen Thieren, die eine mehr nächtliche Lebensweise führen. Schon bei den Eulen tritt im Vergleich mit den übrigen Vögeln und namentlich den Tagraubvögeln die Zahl der Zäpfchen zurück. Ebenso bei vielen Nagern (Ratte, Maus, Siebenschläfer, Meerschweinchen), während die Igel, Fledermäuse, Maulwürfe schliesslich gar keine Zäpfchen mehr besitzen. Auch unter den Fischen giebt es zahlreiche Arten ohne alle Zäpfchen (hierher ausser den Rochen und Haien auch der Stör und Argyropelecus) und solche, die deren eine nur spärliche Menge besitzen (Syngnathus).

M. Schultze glaubt sich durch die hier mitgetheilten Thatsachen zu der Annahme berechtigt, dass die Stäbchen und Zäpfchen nicht bloss durch ihren Bau sich unterscheiden, sondern auch functionell von einander abweichen. Er sucht es wahrscheinlich zu machen, dass die ersteren mehr das Licht in seinen verschiedenen Intensitäten, die anderen aber die Farben percipiren, dass also Lichtsinn und Farbensinn im Auge der Wirbelthiere auf zweierlei Elementartheile übertragen seien. Selbst die einzelnen Farben sollen, wie er annimmt, zum Theil wieder durch verschiedene Zäpfchen aufgenommen werden.

Um diese letztere Vermuthung plausibel zu machen, betont Schultze den auffallenden Umstand, dass die Zäpfchen da, wo sie an Menge vorwalten, bei den Vögeln also und Reptilien, zwischen Aussen- und Innenglied eine mehr oder minder intensiv gefärbte Oelkugel enthalten, die den ganzen Querschnitt in Anspruch nimmt, so dass das Licht sie passiren muss, um in das Aussenglied einzutreten (Fig. 55, 4, *k*). Manche dieser Kugeln sind farblos oder nur sehr blass gefärbt, aber die Mehrzahl hat eine ausgesprochene Farbe, Roth, Orange, Gelb in verschiedener Nüancirung, bisweilen sogar mit einem Stich ins Grüne. Auch der Frosch und Stör besitzt derartige Kugeln, jedoch nur farblose oder solche von leichter gelber Färbung. Natürlich nun, dass diese Oelkugeln nicht bloss auf den Gang des Lichtes einen Einfluss ausüben, sondern auch je nach ihrer Beschaffenheit, eine mehr oder minder grosse Menge der Farben absorbiren, so dass z. B. die Zäpfchen mit rothen Oelkugeln nur von rothen, die mit gelben vornehmlich von gelben, aber auch noch von rothen und grünen Farbenstrahlen durchsetzt werden. Die blauen und violetten Farben würden dann nur von den Zäpfchen mit farblosen Oelkugeln empfunden werden. Die Young-Helmholtz'sche Theorie setzt bekanntlich auch für das menschliche Auge zur Perception von Roth, Grün und Violett verschiedene, bis jetzt freilich noch nicht nachweisbare Einrichtungen voraus.

Diese Oelkugeln sind jedoch nicht die einzigen Vorrichtungen, die auf den Gang der Lichtstrahlen in den Zäpfchen influiren. Ausser ihnen findet sich nämlich sehr allgemein noch an der vorderen Grenze des Innengliedes ein eigenthümlicher linsenartiger Körper (Opticus-Ellipsoid nach Krause, der denselben zuerst auffand und für das knopfförmige Ende einer durch das Innenglied hinlaufenden nervösen Centralfaser hielt), dessen Lichtbrechungsvermögen stärker ist, als das der Umgebung.

Fig. 55.



Stäbchen und Zäpfchen mit linsenförmiger Einlagerung (1—4 *s' s c'*). 1—3 Stäbchen vom Falken, 4 Zäpfchen (2) und Stäbchen vom Huhn, 5 Stäbchen vom Triton. Bei *k* Oelkugel. (Nach M. Schultze.)

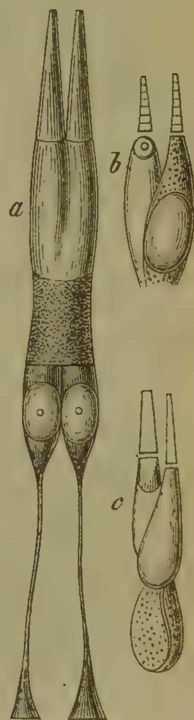
Seitdem Dobrowolsky diese Gebilde auch bei den Säugethieren mit Einschluss des Menschen nachgewiesen hat, dürfen wir die Existenz derselben als ein ziemlich allgemein verbreitetes Attribut der Wirbelthiere betrachten, und das um so mehr, als ihr Vorkommen nicht bloss auf die Zäpfchen beschränkt ist, sondern in gleicher Weise auch in den Stäbchen beobachtet wird. Grösse, Form und Aussehen zeigt in den einzelnen Fällen freilich gewisse Modificationen, wie das die Darstellung von Schwalbe (a. a. O. S. 408 und 412) des Näheren nachweist. Für uns genügt unter Hinweis auf die nebenstehende Abbildung die kurze Bemerkung, dass die betreffenden Körper am leichtesten bei den Tritonen sich auffinden lassen und in den Stäbchen der Vögel an ihrer innern Fläche noch einen selbstständigen kleinen Aufsatz tragen.

Nach Art der cuticularen Abscheidungen sind die Aussenglieder der Stäbchen und Zäpfchen auch mehr oder minder deutlich geschichtet. Man sieht die Trennungslinien der Schichten nicht bloss als zarte Linien quer über die betreffenden Säulen hinlaufen, sondern kann letztere auch durch Zusatz verschiedener Reagentien zu einem vollständigen Zerfall bringen. Solcher Schichten liegen z. B. beim Frosch, bei dem sie wegen der Dicke der Stäbchen verhältnissmässig leicht auffallen, einige dreissig über einander, bei den Säugethieren nur etwa 16—20. M. Schultze, der zuerst auf diese Structurverhältnisse hinwiess, betrachtet die Plättchen als spiegelnde Flächen und sucht die Anwesenheit derselben mit der Aufnahme der Lichtwellen in einen Zusammenhang zu bringen.

In Folge einer noch weiter gehenden Differenzirung scheint auch die Achsenmasse der Stäbchensubstanz gewisse Verschiedenheiten zu besitzen, durch die manche Forscher veranlasst sind, dieselbe geradezu für ein selbstständiges faserartiges Gebilde (Nerven?) zu erklären. Für zahlreiche wirbellose Thiere ist die Röhrennatur der Stäbchen, wie wir später sehen werden, ausser Zweifel.

Ob die bei den niederen Wirbelthieren (mit Ausschluss der Säugethiere) bisweilen vorkommenden sog. Zwillingszapfen eine besondere Bedeutung besitzen, bedarf noch der näheren Feststellung. Man würde dieselben, falls man nur die Bildung kennt, die sie bei den Fischen besitzen, leicht für zufällige, den Doppelmissbildungen vergleichbare Abnormitäten halten können, allein bei Vögeln und Amphibien zeigen die beiden zusammenhängenden Hälften meist mancherlei Unterschiede, die theils in einer ungleichen Grösse, theils auch in einer ungleichen Vertheilung von linsenförmigem Körper und Oelkugel sich aussprechen.

Fig. 56.



Zwillingszapfen. *a* vom Barsch, *b* von der Eidechse, *c* vom Triton. (Nach Müller und Schultze.)

§ 47. Aus eigner Beobachtung wissen wir zur Genüge, dass die einzelnen Territorien unserer Netzhaut in sehr verschiedenem Grade mit der Fähigkeit begabt sind, die Bilder zu analysiren. Es ist eigentlich nur eine einzige, fast punctförmig beschränkte Stelle, und zwar jene, welche am hintern Ende der optischen Achse liegt, der die Fähigkeit einer genauen und feinen Unterscheidung innewohnt. Dieser Umstand bringt es auch mit sich, dass wir unsere Augen nach den Gegenständen richten, welche wir genau sehen wollen. Denn das Richten ist ja eben nichts Anderes, als eine Stellung des Auges, in Folge deren das Bild des zu analysirenden Objectes auf den so fein empfindenden Theil der Netzhaut fällt. Von da aus nimmt die Schärfe des Sehens nach allen Seiten hin rasch ab, wie man durch geeignete Versuche leicht auf das Bestimmteste constatiren kann. Die Perceptionen der peripherischen Theile dienen also mehr zur allgemeinen Orientirung, als zum genauen Untersuchen, so dass man dieselben eben so bezeichnend wie sinnig mit einem am Telescope angebrachten Sucher hat vergleichen können.

Diese Stelle des schärfsten Sehens ist nun aber auch anatomisch in eigenthümlicher Weise ausgezeichnet. Nicht bloss, dass sie mit ihrer Umgebung ein

gelbliches Aussehen hat — daher die Bezeichnung gelber Fleck, *Macula lutea*, die freilich nur für die Menschen und Affen passt, da das Pigment sonst fehlt —, weit bedeutungsvoller noch ist die Thatsache, dass die innern meridionalen Nervenfasern bogenförmig um dieselbe herumlaufen, und die percipirenden Elemente dadurch weit directer den Lichtstrahlen zugänglich geworden sind. Und dieses um so mehr, als zugleich auch die übrigen Schichten der Retina, soweit sie der Stäbchenschicht aufliegen, beträchtlich verdünnt sind — freilich nur, um sich in der Peripherie der auf diese Weise entstandenen grubenförmigen Vertiefung (*Fovea centralis*) um so stärker zu entwickeln. Letzteres gilt namentlich von der innern Ganglienschicht und der Neuroepithellage. Dass die percipirenden Elemente ausschliesslich aus Zäpfchen bestehen, ist schon früher bemerkt worden. Sie haben eine ungewöhnliche Länge und Dünne, so dass sie in beträchtlicher Menge neben einander Platz finden.

Während die hier kurz beschriebene Bildung früher fast nur vom Menschen und Affen bekannt war (Sömmering), hat es besonders durch die Untersuchungen von H. Müller den Anschein genommen, als wenn sie sehr allgemein bei den höheren Thieren vorkomme und bloss den nackten Amphibien und Fischen abgehe. Nur ist der Nachweis gewöhnlich sehr viel schwieriger, nicht bloss wegen des Mangels des Pigmentes, sondern auch deshalb, weil das Grübchen in der Regel nur klein und unscheinbar ist. Freilich machen in letzterer Beziehung einige Reptilien, wie das Chamäleon (nach Albers auch die Schildkröten) eine auffallende Ausnahme. Von schöner Entwicklung ist die Fovea auch bei den Vögeln, besonders den Raubvögeln. Dieselbe liegt bald in der Mitte des hintern Augensegmentes, wie bei dem Menschen, bald mehr nach der Schläfenseite hin. Bei vielen Vögeln ist sonderbarer Weise noch eine zweite Fovea vorhanden, die stets der Schläfenseite zugehört und gelegentlich sogar bis in die Nähe der *Ora serrata* rückt. Diese letztere dient nachweislich dem monoculären Sehen, da das Bild eines gerade nach Vorn gelegenen Lichtpunctes in beide Foveae zugleich fällt. Da die andere Fovea ihrer Lage nach nur das monoculäre Sehen vermitteln kann, so müssen in dem Gesichtsfelde der betreffenden Vögel drei Stellen deutlichen Sehens existiren. Die weit excentrische Lage der binoculären Fovea lässt eine bedeutende Vollendung des optischen Apparats voraussetzen und zeigt dabei mehr, als Anderes, die grosse Bedeutung der bei den verschiedensten Gelegenheiten von uns hervorgehobenen Asymmetrie zwischen äusserer und innerer Augenhälfte. Ob eine ähnliche Verdopplung der Sehgrube nicht auch bei solchen Säugethieren vorkommt, die in Betreff der Gesichtsfelder sogut, wie auch der asymmetrischen Bildung des Auges den Vögeln sich anschliessen, bleibt zur Entscheidung späteren Untersuchungen vorbehalten. Dass die Sehgruben auch unter den beschuppten Amphibien (Eidechsen, Schlangen, Schildkröten) eine weite Verbreitung haben, ist durch Knox und Hulke ausser Zweifel gestellt.

In allen diesen Fällen wiederholt übrigens die Fovea den Bau der menschlichen Sehgrube, so weit dieser durch die Beschaffenheit der empfindenden Elemente und der darüber hinziehenden Lagen seinen charakteristischen Ausdruck findet. Dass die Anschauungen von der Function der einzelnen Elemente der Retina, wie sie heute verbreitet sind, dadurch eine bedeutende Stütze erhalten, bedarf keiner weiteren Ausführung.

§ 48. Die Retina des Menschen wird bekanntlich von den Verzweigungen der *Vasa centralia* versorgt, die mit dem Opticus, dessen Achse dieselben durchsetzen, in die Augen eintreten. Man sieht sie mit ihren Hauptästen auf der Innenfläche der Faserschicht aufliegen und dichotomisch sich in immer feinere Gefässe spalten, die das ganze Gebiet der Netzhaut bis zum gelben Flecke, der selbst gefässlos bleibt, versorgen. Die Capillaren bilden mehrere über einander liegende weitmaschige Netze, von denen das äusserste unter der Neuroepithelschicht hinzieht, ohne letztere jedoch zu berühren und mit dem Gefässapparate der Choroidea irgend welche Communication einzugehen. Aehnlich verhält es sich bei der Mehrzahl der Säugethiere, während andere in dieser oder jener Weise abweichen. So besitzt der Hase nur in der Gegend der oben erwähnten Ausstrahlung dunkelrandiger Nerven Blutgefässe. Bei dem Pferd ist sogar der weitaus grösste Theil der Netzhaut ohne Gefässe, indem nur die Umgebung der *Papilla optici* in einer Breite von 3—6 Mm. deren enthält. Die übrigen Wirbelthiere entbehren mit den *Vasa centralia* der Retinalgefässe vollständig. Sie haben »anangische« Netzhäute, die bald ausschliesslich von der Choroidea aus, bald auch daneben noch von dem Kamme (Vögel, Eidechsen) oder von besonderen *Vasa hyaloidea* (Ophidier, Fische) ernährt werden. Auch im Embryonalzustande sind bei diesen Thieren niemals Gefässe in der Retina vorhanden. Für die Fische hat übrigens schon Haller die Abwesenheit der Blutgefässe in der Retina gekannt und hervorgehoben.

5. Der dioptrische Apparat.

(Linse, Glaskörper.)

Brewster, On the structure of the crystalline lens in fishes and quadrupedes. Philos. Transact. 1816. P. II. p. 311.

——, On the anatomical and optical structure of the crystalline lenses of animals. Ibid. 1833. T. II. p. 323 und 1836. T. I. p. 35.

Sernoff, Ueber den mikroscopischen Bau der Linse bei Mensch und Wirbelthieren. Archiv für Ophthalmologie. 1867. Bd. XIII. S. 527—548.

Schwalbe, De canali Petiti et de Zonula ciliari. Halae 1870.

Hannover, Entdeckung des Baues des Glaskörpers. Archiv für Anat. und Physiol. 1845. S. 467. (Das Auge S. 28.)

Finkbeiner, Vergleichende Untersuchung der Structur des Glaskörpers bei den Wirbelthieren. Zeitschrift für wissensch. Zoologie. 1855. Bd. VI. S. 330.

Ciaccio, Beobachtungen über den inneren Bau des Glaskörpers im Auge des Menschen und der Wirbelthiere im Allgemeinen. Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre. 1870. Bd. X. Heft 6.

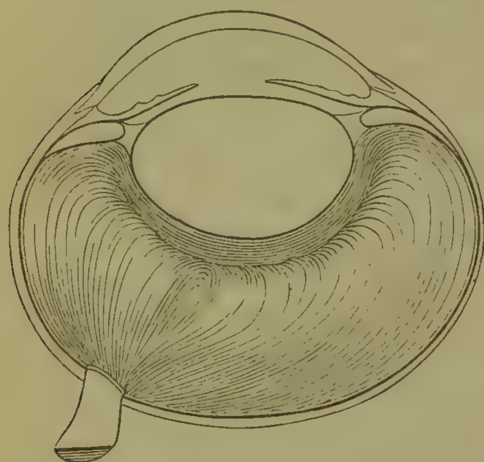
Iwanoff, Glaskörper und Linse in Stricker's Handbuch der Lehre von den Geweben. Bd. II. S. 1071.

Treviranus, Beiträge zur Anat. und Physiol. der Sinneswerkzeuge. Heft 1. 1828.

§ 49. Die durchsichtigen Medien, die den Innenraum des Bulbus erfüllen und die durch die Cornea einfallenden Lichtstrahlen unter mehr oder minder bedeutender Ablenkung fortleiten, haben bei sämmtlichen Wirbelthieren eine im Wesentlichen gleiche Beschaffenheit und Anordnung. Bei den Wasserthieren, deren Cornea, wie wir wissen (S. 186), ein einfaches Fenster darstellt, ist ihr Brechungsvermögen unter sonst gleichen Verhältnissen natürlich ein

grösseres, als bei den Landthieren, bei denen die Strahlen schon durch die Cornea beträchtlich abgelenkt werden. In beiden Fällen aber summirt sich der Gesammteffect der dioptrisch wirkenden Apparate der Art, dass auf der Retina ein scharfes Bild der in Sicht befindlichen Gegenstände sich abzeichnet. Die Retina liegt mit anderen Worten in der Focalweite der brechenden Apparate, so dass die Länge der Augenachse überall einen Maassstab für die Beurtheilung des denselben innewohnenden Brechungsvermögens abgiebt. In kleinern Augen ist letzteres also stärker, als in grösseren, und das um so mehr, je weiter die Grösse abnimmt.

Fig. 57.



Horizontaler Durchschnitt des Pferdeauges (nach Hannover). Der Glaskörper zeigt eine durch Chromsäure deutlich gemachte Schichtung. Zwischen Linse und Strahlenkranz die Zonula ciliaris mit dem sog. Canalis Petiti.

Unter den dioptrischen Inhaltsmassen des Auges ist nun aber eine, welche durch ihre Brechungskraft die anderen in einem solchen Maasse übertrifft, dass die letzteren dadurch zu einem fast indifferenten Füllmateriale herabsinken. Das betreffende Gebilde ist die Linse (*Lens crystallina*), ein krystallheller Körper mit sphärisch gekrümmten Flächen, der, gehörig centrirt, dicht hinter der Iris liegt und durch ein dem Ciliarkörper verbundenes ringförmiges Aufhängeband (*Zonula ciliaris*) der Art befestigt ist, dass der gesammte Innenraum des Auges in zwei hinter einander liegende, meist allerdings sehr ungleiche Hälften getrennt wird. Der hintere dieser Räume enthält den gallertartigen sog. Glaskörper (*Corpus vitreum*), der vordere aber das Augenwasser (*Humor aqueus*), das eine mehr flüssige Beschaffenheit besitzt und somit das Spiel der vor dem Rande der Linse hinschiebenden Iris nicht im Mindesten behindert.

§ 50. Für die Linse gilt also vornehmlich, was wir für die dioptrischen Medien des innern Auges oben im Ganzen bemerkt haben, dass ihr Brechungsvermögen bei den Wasserthieren stärker sei, als bei den Landthieren, bei den kleineren stärker, als bei den grösseren. Freilich ist dieser Schluss nur unter der Voraussetzung zutreffend, dass die Linse überall eine relativ gleiche Entfernung von der Retina einhält. Da das aber keineswegs überall der Fall ist, so muss man, um die dioptrischen Eigenschaften der Linse genauer zu beurtheilen, nicht bloss die Länge der Augenachse kennen und den Antheil bestimmen, den die Cornea an der Brechung der Lichtstrahlen nimmt, sondern weiter auch die Tiefe des hinteren mit dem Glaskörper erfüllten Augenraumes in Rechnung bringen. Je kürzer der letztere ist, desto grösser erscheint — unter sonst gleichen Verhältnissen — die Brechung, welche die Linse vermittelt.

Es sind nun hauptsächlich zweierlei Momente, durch welche dieses Brechungsvermögen bestimmt wird, der Brechungsindex einmal, der die physikalischen Eigenschaften der Linse, insonderheit deren Festigkeit zum optischen Ausdruck

bringt, und sodann das Krümmungsverhältniss der Fläche. In beiderlei Hinsicht finden wir nun bei den Wirbelthieren sehr beträchtliche Unterschiede.

Ueber die Grösse des Brechungsindex liegen bis jetzt freilich erst wenige Angaben vor, überdiess fast nur solche, welche die Linse des Menschen und des Rindes betreffen. Sie ergeben für beide ziemlich übereinstimmend eine Grösse von 1,40—1,45, je nachdem die mehr äusseren oder inneren Schichten der Linse, die schon bei oberflächlicher Untersuchung als verschieden fest erscheinen, dabei zu Grunde gelegt werden.[1] Die Vögel haben übrigens — wohl in Zusammenhang mit dem grossen Accommodationsvermögen — eine weichere Linse als die Säugethiere; der Brechungsindex wird demnach hier auch ein geringerer sein, allein trotzdem dürfen wir annehmen, dass er den der Cornea (etwa 1,348) immer noch um Einiges übertreffen wird. In auffallendem Gegensatze dazu stehen die Wasserthiere, besonders die Fische, deren Linse so fest und wasserarm ist, dass der Kern beim Trocknen nicht einmal trüb wird. Monro bestimmte das specifische Gewicht der Kabliaulinse, das des Wassers zu 1 angenommen, auf 1,16 (des Linsenkernes sogar auf 1,2), während die Linse des Ochsen ein solches von nur 1,1 (der Kern von 1,16) besitzt. Hiernach begreift es sich auch, dass ihr Brechungsindex den des gewöhnlichen Glases (1,6) übertrifft, wie schon daraus hervorgeht, dass der Focus des kugligen Linsenkernes nur um ein Sechstheil seines Durchmessers absteht, der einer Glaskugel aber um ein Viertel (Monro).

Doch nicht genug, dass die Fischlinse einen so bedeutenden Brechungsindex besitzt, sie hat auch eine mehr oder minder vollständige Kugelform (Fig. 39), vereinigt also alle Bedingungen einer starken Strahlenbrechung. Der Zusammenhang mit der flachen Bildung der Cornea liegt auf der Hand und ist auch bereits seit Anfang des vergangenen Jahrhunderts (seit de la Hire) von allen Seiten anerkannt worden.

Die Fische sind jedoch nicht die einzigen Wirbelthiere mit einer sphärischen Linse. Auch die Batrachier und Seeschildkröten, ja selbst die Schlangen zeigen die gleichen Verhältnisse. Ueberhaupt sind die Amphibien durchweg mit einer stark gekrümmten dicken Linse versehen (vgl. Fig. 14 vom Chamäleon), so dass die Verhältnisse der Achse und des Querdurchmessers nur selten über 1 : 1,2 bis 1,25 hinausgehen. Bei den Vögeln steigt die Proportion (vgl. Fig. 21, 22) durchschnittlich auf etwa 1 : 1,35 und bei den Säugethieren (Fig. 19, 20) sogar auf 1 : 1,4, so dass die Linse der Warmblüter im Ganzen also eine viel flachere Form besitzt, als die der Kaltblüter. Das schliesst allerdings nicht aus, dass sich dieselbe in gewissen Fällen der Kugelform wieder annähert. So namentlich bei den Cetaceen (Fig. 6), den Seehunden, der Fischotter (1 : 1,1), und den Wasservögeln (1 : 1,2), also solchen Thieren, die den Fischen durch ihre Lebensweise nahe stehen, so wie den kleineren Arten, besonders den Nagern (1 : 1,2—1,25). Die Raubthiere, insonderheit die mehr nächtlichen (Fig. 20, 21), zeigen gleichfalls verhältnissmässig dicke und gewölbte Linsen, während dagegen die grösseren Pflanzenfresser, auch der Strauss (Fig. 22), eine starke Abflachung (meist

[1] Vgl. Krause, Die Brechungsindices der durchsichtigen Medien des menschlichen Auges. 1855. S. 28 und 30. — Was übrigens den Gesammtindex der Linse betrifft, so repräsentirt dieser nach Listing (Wagner's H. W. B. der Physiol. Bd. IV. S. 486) nicht etwa einen Mittelwerth aus den Indices der verschiedenen Schichten, sondern einen Werth, der den des Kerntheiles übertrifft.

1 : 1,6) erkennen lassen. Bei den Affen und dem Menschen steigt letztere sogar der Art, dass der Querdurchmesser der Linse (besonders bei dem Menschen) reichlich das Doppelte der Achse misst.[1])

Wo die Form der Linse von der sphärischen abweicht, da sind in der Regel auch die beiden Flächen verschieden gekrümmt und zwar gewöhnlich der Art, dass die Wölbung vorn geringer ist als hinten. Nur bei einigen Raubthieren und namentlich den Katzen findet das Gegentheil statt. Im Ganzen ist dieser Unterschied bei den am meisten abgeflachten Linsen am auffallendsten. So hat z. B. die vordere Krümmung beim Strauss einen Radius von 13, die hintere nur von 9 Mm. Bei dem Rinde messen dieselben Radien 25 und 21, beim Elephanten 10 und 8, beim Affen (Inuus) 5,5 und 2,7. Zur Vergleichung fügen wir hinzu, dass die entsprechenden Längen bei dem Schwan 5 und 4, dem Falken 9 und 7, dem Hasen 14 und 14, dem Wolf 8 und 7, dem Luchs 8 und 10, dem Delphin 16 und 14 betragen.

Wie gross übrigens die Verschiedenheiten sind, die in Bezug auf das Brechungsvermögen aus den hier angezogenen Eigenschaften resultiren, ergiebt sich am besten vielleicht aus den Messungen, die Sömmering, Cuvier, Treviranus u. A. über den Abstand der Linse von der Retina bei zahlreichen Thieren mitgetheilt haben. Wir entnehmen daraus, dass diese Entfernung bei den Haien und Rochen etwa 3—4 Mm. beträgt, bei den Hechten mittlerer Grösse gleichfalls 4, dem Kabliau 9, dem Frosche und der Ringelnatter 1, dem Krokodil 5, der Seeschildkröte 9. Die Warmblüter zeigen, der Grösse der Augen entsprechend, einen durchschnittlich beträchtlicheren Abstand, der Schwan von 6, der Adler von 16, der Strauss von 19 Mm. Wie die Vögel, so verhalten sich auch die Säugethiere, von denen die Nager grösseren Kalibers etwa 4—5, die grösseren Raubthiere 8—9, der kurzschwänzige Affe 10, das Schaaf 12, der Ochs 17, das Pferd 19 Mm. Tiefe in dem hinteren Augenraume aufweisen. Selbst bei gleicher und nahezu gleicher Länge der Augenachse finden sich in dieser Hinsicht bisweilen merkliche Unterschiede, wie das u. a. der Luchs und Seehund (9 und 12 Mm.) oder der Uhu und Strauss (16 und 19 Mm.) zur Genüge erkennen lassen.

Dabei muss man übrigens berücksichtigen, dass der Raum hinter der Linse von einer Substanz gefüllt ist, die ungefähr das Brechungsvermögen des Wassers hat, der Focalabstand der Linse im Auge also grösser ist, als er in der Luft sein würde. Ueberdiess ergeben die hier gemachten Angaben nur in solchen Fällen einen directen Ausdruck für die Focalweite der Linse, in denen die Cornea keinen dioptrischen Einfluss ausübt, also namentlich für die Fische. Sonst bezeichnen die angeführten Werthe überall die Focalweite eines aus Linse und Cornea combinirten Systemes, so dass die Unterschiede des Brechungsvermögens für die Linse allein viel weiter aus einander liegen, als die betreffenden Zahlen aussagen. Einigen Anhaltspunct für die directe Vergleichung bietet die Angabe von Monro, dass die Linsenbrennweite des Ochsen die des Kabliau um reichlich das Vierfache übertreffe. Bei den Vögeln dürfte der Unterschied wegen des geringeren Brechungsindex voraussichtlich noch grösser sein.

Die hier mitgetheilten Maasse belehren uns gleichzeitig von der Thatsache, dass auch die Grösse des hinteren Augenraumes und die davon ab-

1) Ueber die wirklichen Durchmesser der Linse und der übrigen brechenden Medien, sowie deren Krümmungsverhältnisse vergleiche man besonders die Zusammenstellungen von Cuvier, Leçons d'anat. comp. T. III. p. 394 u. s. w.

hängige Massenhaftigkeit des Glaskörpers bei den Wirbelthieren mancherlei Schwankungen darbietet. Und das nicht bloss im Verhältniss zu den wechselnden Dimensionen des Auges, sondern auch da, wo diese gleich sind, oder durch Rechnung gleich gemacht werden. Ganz genaue Resultate wird man freilich erst dann gewinnen, wenn man ausser der Länge des hinteren Augenraumes auch noch den Querschnitt desselben in Betracht zieht, ein Verfahren, das namentlich für die Fische, die bekanntlich (S. 182) sehr breite Augen besitzen, mehrfach andere Resultate in Aussicht stellt, als die Entfernung von Linse und Retina sie vermuthen lässt. Trotzdem aber dürften die Fische immer noch diejenigen Wirbelthiere abgeben, bei denen der hintere Augenraum und damit denn auch der Glaskörper verhältnissmässig am meisten zurückbleibt. Den umgekehrten Fall bieten allem Anschein nach die grösseren Pflanzenfresser.

Wie dieser hintere Augenraum, so zeigt aber auch der vordere, der den *Humor aqueus* enthält, gar mancherlei Unterschiede. In ihren Extremen sind dieselben sogar noch viel bedeutender, wie augenblicklich einleuchtet, sobald man etwa das Verhalten bei dem Hechte (Fig. 39) oder dem Chamäleon (Fig. 14) mit dem des Luchses (Fig. 20) oder Uhu (Fig. 21) zusammenstellt. Begreiflicher Weise richtet sich auch hier die räumliche Entwicklung zum grossen Theile nach dem Abstand der Linse, und dieser wiederum nach den Unterschieden, die in der Krümmung sowohl der Cornea, wie auch der vorderen Linsenfläche obwalten. Da nun letztere in der Regel um so stärker gekrümmt ist, je mehr die Cornea sich abflacht, so erklärt es sich, dass es wiederum die Fische und dann weiter die Amphibien sind, die in der räumlichen Entwicklung der vorderen Augenkammer hinter den übrigen zurückbleiben. Bei vielen dieser Thiere reicht die Linse mit ihrer Vorderfläche bis an die Cornea, so dass die betreffende Kammer auf einen meist nur engen Spaltraum in der Peripherie der ersteren beschränkt bleibt. Das Gegenstück beobachten wir bei den Vögeln, besonders den grösseren Raubvögeln, bei denen die Linse um 7 und 8 Mm. von der hinteren Fläche der Cornea absteht, mehr, als das selbst bei den grössten Säugethieren, die nur selten über 5 Mm. hinausgehen, jemals der Fall ist. Von den allerkleinsten Arten abgesehen, dürfte dieser Abstand überhaupt nur selten bei den Warmblütern erheblich unter 2 Mm. herabsinken. Schon das lebhafte Spiel der Iris lässt eine gewisse Tiefe der vorderen Augenkammer als nothwendig erscheinen.

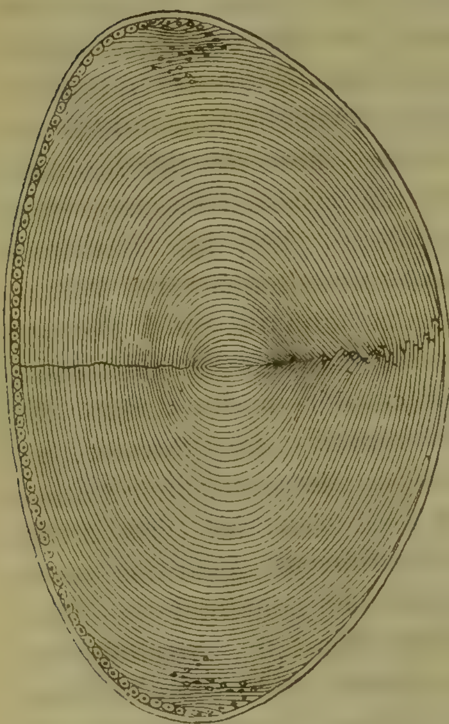
Bei der starken Reduction der vorderen Augenkammer in der Gruppe der Fische und der gleichzeitig nur geringen Grösse des hinteren Augenraumes hat die Linse dieser Thiere natürlich einen verhältnissmässig beträchtlichen Antheil an dem Aufbau des Auges, jedenfalls einen ungleich grösseren, als (Frosch und Schlange vielleicht ausgenommen) sonst bei den Wirbelthieren. Und das um so mehr, als auch die absolute Grösse der Linse bei den Fischen sehr bedeutend ist, beim Kabliau z. B., dessen Linse eine Kugel von 15 Mm. darstellt, ansehnlicher, als beim Walfisch, bei dem ich eine auf 13 Mm. abgeplattete Linse von 16 Mm. Querdurchmesser vorfinde. Und das bei demselben Thiere, dessen Auge, wie oben (S. 181) angegeben, 120 Mm. breit und 75 Mm. lang ist. Freilich hat der Walfisch eine relativ nur kleine Linse, selbst eine kleinere, als der Mensch, den man sonst gewöhnlich unter den Warmblütern mit der relativ kleinsten Linse ausstattet. Beide aber werden unter den Kaltblütern noch von der Seeschildkröte übertroffen, deren Linse nach Sömmering nur 4,5 Mm. misst, während das

Auge einen Querdurchmesser von 28 und eine Achse von 23 Mm. besitzt. Die relativ grösste Linse besitzen unter den Warmblütern — von den kleineren Arten, die auch hierin wohl die grösseren übertreffen dürften, abgesehen — die Raubthiere, besonders die Katzen und Eulen (Fig. 20 und 21).

§ 51. Gleich der Linse des Menschen besitzt auch die der übrigen Wirbelthiere eine glashelle und structurlose Kapsel, die dem eigentlichen Linsenkörper dicht anliegt und denselben mit Hülfe der ihr verbundenen *Zonula ciliaris* im Innern des Auges befestigt. Ebenso ist auch der elementare Bau ihnen allen gemeinsam. Ueberall besteht die Linse, wenigstens die der wirklich sehenden Wirbelthiere, aus Fasern, welche in dichtgedrängter Menge neben einander liegen und eine regelmässige Anordnung einhalten.

Die Hauptmasse der Linse wird von zahlreichen Lagen concentrischer Fasern gebildet, welche in meridionaler Richtung verlaufen und in der Mitte sowohl der vordern, wie der hintern Fläche auf einander stossen. In früherer Zeit liess man die Linse ausschliesslich aus diesen meridionalen Fasern sich aufbauen, allein gegenwärtig wissen wir, dass dazu sehr allgemein noch ein zweites System von kürzeren sog. Radiärfasern oder von Zellen kommt, die in einfacher Schicht über das vordere Segment der Linse hinziehen und am äquatorialen Rande durch Auswachsen und schräge Stellung allmählich in die meridionalen Fasern übergehen. Seine ansehnlichste Entwicklung erreicht dieses zweite System von Linsenelementen bei den Vögeln und Eidechsen (Fig. 28, 14), bei denen die »Radiärfasern« auch schon vor längerer Zeit (zuerst von Treviranus) aufgefunden wurden. Die Beziehungen derselben zu dem Gesammtbau der Linse blieben freilich unbekannt, bis H. Müller (in seiner Arbeit über den Accomodationsapparat der Vögel) auch hier den richtigen Einblick eröffnete. Das volle Verständniss verdanken wir jedoch erst der Entwicklungsgeschichte, an deren Hand wir erkannt haben, dass die Linse der Wirbelthiere aus einer ursprünglich zelligen Hohlkugel hervorgeht, deren Elemente an der hintern Fläche in die meridionalen Fasern auswachsen, also die weitaus grösste Masse des späteren Linsenkörpers bilden, während die der vorderen sich verhältnissmässig nur wenig verändern und nach vollständiger Füllung des Innenraumes die meridionalen Fasern in Form eines kappenartigen dünnen Ueberzuges bedecken (vgl. Fig. 16—18 auf S. 311—313 des ersten Theiles).

Fig. 58.

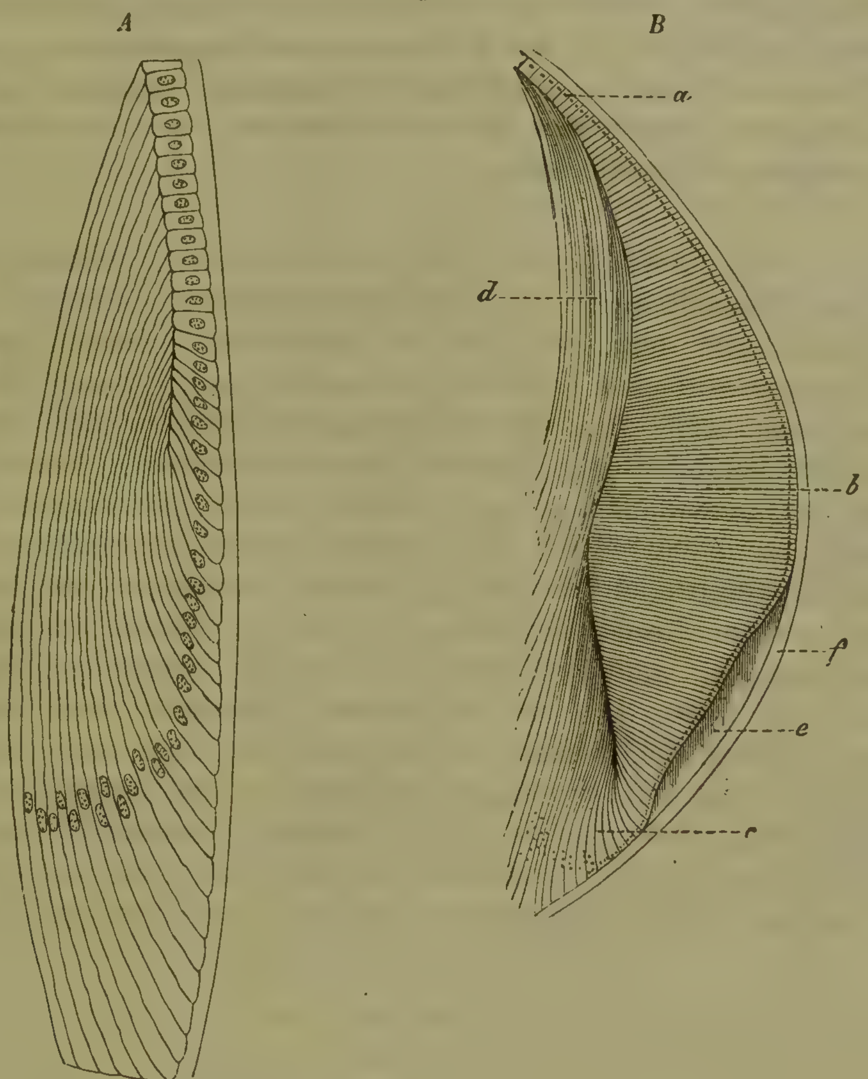


Aequatorialschnitt durch die Achse der menschlichen Linse (nach Babuchin).

Bei den Säugethieren, den meisten Amphibien und Fischen behalten die mikroscopischen Bestandtheile dieses Ueberzuges in ganzer Ausdehnung ihren

genuinen Charakter. Sie bilden auch im erwachsenen Thiere eine einfache Lage von Zellen, die man leicht für eine Epithelialschicht halten könnte und in der That auch anfangs als Kapselepithel betrachtete, bis man (zuerst durch MEYER)

Fig. 59.



A Meridionaler Schnitt durch den Rand der Kaninchenlinse, an dem der Uebergang des sog. Epithels in Linsenfasern ersichtlich ist. *B* Eben solcher Schnitt durch die Hühnerlinse. *a* Epithelzellen. *b* Senkrechte sog. Radiärfasern. *c* Ihr Uebergang in die meridionalen. *d* Meridionale Fasern. *e* Structurlose Masse. *f* Kapsel.

die Ueberzeugung gewann, dass die einzelnen Zellen am Linsenrande durch Auswachsen sich in gewöhnliche Fasern umwandeln. Die Eigenthümlichkeiten der Vögel und Eidechsen bestehen nun darin, dass diese Zellen vor dem Auswachsen in die meridionalen Fasern sich strecken und zu den oben erwähnten Radiärfasern werden, die dann in der Peripherie der Linse zur Bildung eines mehr oder minder breiten und hohen Ringes zusammentreten. Allem Vermuthen nach hat dieser eigenthümliche Bau eine Beziehung zu der accommodativen Formveränderung der Linse, obwohl es auffallend ist, dass er bei dem Chamäleon, das doch wahrscheinlicher Weise ein nur beschränktes Accommodationsvermögen besitzt, eine weit stärkere Entwicklung zeigt, als bei irgend einem Vogel. Nicht bloss, dass die Radiärfasern hier die sonst unerhörte Länge von

0,5 Mm. erreichen, sie sind dabei auch so weit verbreitet, dass der Bezirk der epithelartigen Zellen auf eine Area von kaum einem halben Millimeter zusammenschrumpft, also kleiner ist als die Pupille. Unter den Vögeln sind es wieder die Eulen, die, namentlich im Gegensatz zu den Tagraubvögeln, eine besonders schwache Bildung des Ringes aufweisen. An den Uebergangsstellen in den eigentlichen Linsenkörper beboachtet man bei den Vögeln gewöhnlich eine Einbiegungsstelle (Fig. 59 *B, c*), die in Form eines Ringcanales um die Aequatorialzone herumzieht und eine weiche structurlose Substanz in sich einschliesst. Derselbe Canal findet sich (nach Sernoff) auch bei den Embryonen vieler Säugethiere und des Menschen.

§ 52. Die Fasern, welche die Linse zusammensetzen, haben eine vollkommen homogene Beschaffenheit, sind aber sämmtlich mit einem Kerne versehen, der zur Genüge kund thut, dass sie trotz ihrer zum Theil sehr beträchtlichen Länge als Derivate einfacher Zellen zu betrachten sind. Durch die allmähliche Verlängerung dieser Zellen und die regelmässige Anordnung der daraus hervorgehenden Fasern kommt es nun, dass alle Kerne in derselben Ebene liegen und zu einer Zone zusammengruppirt sind, welche sich an dem äquatorialen Rande direct in die Kernzone der vordern sog. Epithellage fortsetzt (Fig. 59 *A*). Da es aber jedes Mal nur die Randzellen sind, die in Fasern auswachsen, und diese in einem nahezu geschlossenen Kreise beisammen stehen, so liefert das Entwicklungsproduct derselben stets neue Schichten, die sich den früheren auflagern und es bedingen, dass die Linse d. h. die Hauptmasse derselben, einen lamellösen Bau hat, und die Lamellen sich decken, wie die Schuppen einer Zwiebel. Die Fasern, welche zu der Bildung solcher Lamellen zusammentreten, sind in radialer Richtung bandartig abgeplattet und der Art in einander geschoben, dass ihre Querschnitte die Form von flachen Sechsecken haben. Dicke und Breite zeigen dabei die mannichfachsten Verschiedenheiten und das nicht bloss bei den einzelnen

Fig. 60.



Senkrechte Schnitte durch Linsenfasern in ihrer natürlichen Lage.
a Vom Kalbe. *b* Vom Huhn.

Thieren, sondern auch in den einzelnen Schichten der Linse, ja nicht selten sogar an den verschiedenen Stellen derselben Faser. Bei den Vögeln erscheinen die Sechsecke lang und niedrig, d. h. die Linsenfasern der Vögel sind breit und flach, viel flacher als die der Säugethiere, aber trotzdem noch höher, als die der Fische. Letztere haben überhaupt von allen Wirbelthieren die dünnsten Fasern,

wohl im Zusammenhang mit der schon früher betonten Festigkeit und dem hohen Brechungsindex der Fischlinse. Dieselben sind so flach, dass es schwer hält, die Form ihrer Querschnitte zu erkennen. Dazu kommt, dass ihre Ränder, wie schon BREWSTER beobachtete, bei der Mehrzahl der Fische sehr regelmässig mit quadratischen Zähnen besetzt sind, die eine meist beträchtliche Höhe besitzen und an den benachbarten Fasern alternirend in einander eingreifen. Auch bei den übrigen Wirbelthieren (besonders den Vögeln und Amphibien) sind die Ränder der Linsenfasern nicht selten gezähnelt oder doch wenigstens uneben, aber die Hervorragungen bleiben niedrig und gewöhnlich sehr unregelmässig entwickelt. Ueberdiess sind es zumeist nur die tiefern Lagen, deren Fasern sich in dieser Weise auszeichnen. Dass letztere auch sonst noch mancherlei Eigenthümlichkeiten zeigen, sich namentlich durch grössere Consistenz und geringere Breite von den mehr oberflächlichen Fasern unterscheiden, wird nach den früheren Bemerkungen über den grösseren Brechungsindex des Linsenkernes nicht überraschen können.

Ebenso natürlich ist es, dass die Fasern der einzelnen Schichten immer länger werden, je weiter diese von dem Mittelpuncte der Linse abstehen. Wissen wir doch, dass die Fasern immer nur von Pol zu Pol gehen, wie die Breitengrade eines Globus. Wäre dieser Vergleich übrigens ganz zutreffend, dann würden die Enden der Fasern immer nur in einem einzigen Puncte sich begegnen, da nämlich, wo die Achse der Linse und die Schichten sich schneiden. So ist es in der That auch bei zahlreichen Wirbelthieren, bei den Vögeln und Eidechsen, den nackten Amphibien, dem Kabliau, Schellfische u. a. Aber die grössere Menge zeigt ein in sofern abweichendes Verhalten, als die Berührung der Fasern nicht in einem Puncte, sondern in einer Linie geschieht, die sich, da die betreffende Bildung in den anliegenden Schichten ganz gleichmässig wiederkehrt, natürlich in Form einer Naht auf beiden Linsenflächen ausprägt. Bei der Schildkröte und einigen Fischen (Belone, Torpedo) findet sich diese Naht nur auf der vordern Fläche, während die Vereinigung hinten in früherer Weise vermittelt ist. Auch da, wo beide Flächen gleichmässig von Nähten durchzogen werden, ist die Symmetrie keine vollständige, indem nicht bloss die Nähte vorn und hinten unter bestimmtem Winkel sich kreuzen, sondern auch die beiden Enden der Fasern an verschiedenen Puncten sich inseriren, das eine in der Mitte der Naht, das andere am äussersten Winkel u. s. f. Auf diese Weise kommt es dann auch, dass die Fasern der einzelnen Schichten trotz der linearen Form ihrer Vereinigung überall die gleiche Länge besitzen. Selbst die Breite ist so ziemlich dieselbe, während sie bei den Arten mit punctförmiger Vereinigungsweise von dem Aequator nach den Polen zu immer mehr abnimmt, wie man das namentlich bei den Eidechsen, die eine nur kleine Linse besitzen, an den abgelösten Fasern auf das Schönste übersehen kann.

Im Einzelnen zeigt übrigens das Verhalten der Nähte bei den betreffenden Thieren mancherlei Unterschiede, die auch auf die Anordnung der Fasern zurückwirken und trotz der Uebereinstimmung des Constructionsprincipes oftmals die complicirtesten Bildungen zur Folge haben. Wo die Verhältnisse am einfachsten sind, da verlaufen die Nähte in der Richtung der Meridiane, auf der einen Fläche von Oben nach Unten, auf der andern aber von Rechts nach Links. So besonders bei Fischen, dem Karpfen und Lachs, dem Schwertfisch, den Selachiern

u. v. a., auch einigen Reptilien (Gecko, Krokodil) und Säugethieren (Delphin, Hase). In der Regel ist aber die Bildung der Nähte bei den letzteren eine zusammengesetztere, indem die meridionale Form derselben einer radiären Platz gemacht hat. Statt der einfachen Naht besitzen die Säugethiere dann einen sog. Linsenstern, mit Strahlen, die alternirend von dem Mittelpunct der vordern und hintern Fläche ausgehen. Solcher Strahlen finden sich gewöhnlich drei, seltener (bei dem Walfisch, dem Seehund, dem Bären) vier, doch kommt es auch vor, dass die Zahl mit zunehmendem Alter sich durch Spaltung verdoppelt (beim Elephanten) oder auch sonst vergrössert, wie das namentlich vom Menschen (vgl. Fig. 9 *A*, *B* und *C* auf S. 299 des ersten Theiles) zur Genüge bekannt ist.

Ueber die functionelle Bedeutung dieser Eigenthümlichkeiten können wir einstweilen kaum eine Vermuthung wagen. Nur so viel steht fest, dass die Schichtung der Linse und die nach dem Centrum zunehmende Dichtigkeit dazu dient, die sphärische Aberration zu corrigiren, und im Verein mit den übrigen Eigenschaften aus der Linse des Wirbelthierauges ein Instrument schafft, das durch die Vollkommenheit und Genauigkeit der Leistung unsere besten Glaslinsen weit hinter sich lässt.

§ 53. Die Structur des **Glaskörpers** ist trotz zahlreicher Untersuchungen noch lange nicht so befriedigend aufgeklärt, wie die der Linse. Man streitet namentlich darüber, ob er eine zusammenhängende Gallertmasse darstelle, oder, wie das namentlich auch von Hannover und Finkbeiner behauptet wird, aus einem Gerüste von Glashäuten bestehe, das in seinen Zwischenräumen eine tropfbare Flüssigkeit einschliesst. Gegenwärtig neigt man sich der Annahme zu [1]), dass ein derartiges Gerüst fehle und nur die Aussenfläche von einer dünnen und durchsichtigen, homogenen Haut, der sog. Hyaloidea, überzogen werde. Trotzdem aber zeigt die Substanz des Glaskörpers ganz unverkennbar eine concentrische Schichtung (Fig. 57), die durch eine Wechselfolge von festen und weniger festen Lagen bedingt ist. Bei den Säugethieren wird die Achse des Glaskörpers noch von dem sog. *Canalis hyaloideus* durchzogen, der von der *Papilla optici* zur hintern Linsenfläche emporsteigt, bei den einzelnen Arten aber eine verschiedene Weite hat. Während des Embryonallebens enthält dieser Raum die *Art. hyaloidea*, die eine Fortsetzung der *Art. centralis retinae* darstellt und sich hinter der Linse zu einem Gefässnetz ausbreitet, auch in manchen Fällen (beim Pferde, Kalbe, Schwein) noch eine Zeitlang nach der Geburt sich beobachten lässt. Diesem Canale entspricht wahrscheinlich auch der Raum, der bei den Vögeln und Eidechsen den oben beschriebenen Fächer in sich aufnimmt, obwohl derselbe von der den Fächer überziehenden Hyaloidea ausgekleidet ist. Daneben enthält der Glaskörper der Vögel in vielen Fällen freilich noch einen mit tropfbarer Flüssigkeit gefüllten Innenraum.

Die Unterschiede, die bei den verschiedenen Wirbelthieren in der Schichtung des Glaskörpers beschrieben sind, bedürfen einer erneuten Untersuchung.

Da der Glaskörper den gesammten hintern Augenraum ausfüllt, so steht die Hyaloidea mit den begrenzenden Flächen überall in innigster Berührung. An der hintern Wand der Linse und des Strahlenkörpers bis zu der *Ora serrata*

---

1) Vgl. Schwalbe's Darstellung vom Glaskörper im I. Th. d. Hdb.

wird diese Berührung sogar zu einem festen Zusammenhange, so dass hier die Lösung des Glaskörpers nur unvollständig gelingt und gewöhnlich ein Theil des anliegenden Pigmentes damit in Verbindung bleibt. Natürlich, dass dieser Zusammenhang dazu beiträgt, nicht bloss die Beziehungen zwischen dem Strahlenkranze und der Linse, auf die wir an verschiedenen Stellen (§ 33 und 35) hingewiesen haben, zu vermitteln, sondern auch die Linse in ihrer Lage zu erhalten. Das Letztere geschieht um so vollständiger, als die Vorderfläche des Glaskörpers zur Aufnahme der Linse überall mit einer entsprechenden Vertiefung (*Fossa patellaris*) versehen ist. Gleichzeitig wird nun aber auch der auf diese Grube zunächst folgende Theil der Hyaloidea, so weit derselbe zwischen Linsenrand und *Ora serrata* gelegen ist, durch ein System von kräftigen Radiärfasern verstärkt, die von der Linsenkapsel, besonders deren vorderer Wand, ausgehen und bei den Vögeln schon ohne Präparation mit blossem Auge als feine glänzende Streifen erkannt werden. Auch bei den Säugethieren markirt sich der betreffende Theil der Glashaut durch ein matteres Aussehen. Die jedesmalige Breite richtet sich natürlich nach der Entwicklung des Strahlenkörpers.

Auf diese Weise wird nun der vordere Rand der Hyaloidea zu der sog. *Zonula ciliaris* s. *Zinnii*, einem Gebilde, welches man in früherer Zeit vielfach als ein selbstständiges Organ betrachtet hat. Dass solches mit Unrecht geschah, braucht nach dem Voranstehenden kaum besonders hervorgehoben zu werden. Der Irrthum wurde vornämlich dadurch bedingt, dass hinter diesem vordern Rande die Gallertmasse des Glaskörpers um ein Weniges zurückweicht. Hierdurch entsteht nun im Umkreis der *Fossa patellaris* (Fig. 57) eine Art Ringcanal (*Canalis Petiti*), der namentlich bei den Fischen eine ziemliche Weite hat (Finkbeiner) und wie der *Can. hyaloideus* mit einer hellen Flüssigkeit gefüllt ist. Nach Schwalbe soll derselbe (beim Schwein u. a.) von dem *Canalis Fontanae* aus mit Injectionsmasse gefüllt werden können und auch durch eine Anzahl von Spalträumen mit der von der Iris bedeckten sog. hinteren Augenkammer zusammenhängen, was von andern Seiten freilich bezweifelt wird.

Bei der grossen Mehrzahl der Wirbelthiere erscheint die *Zonula ciliaris* als ein Aufhängeband, das ringförmig um den ganzen Umfang der Linse herumgreift. Nur die Fische verhalten sich anders, indem hier nämlich die Fasern, die das betreffende Organ zusammensetzen, auf eine schmale Stelle beschränkt sind. Sie bilden das schon bei einer früheren Gelegenheit beschriebene *Ligamentum suspensorium*, das der Campanula gegenüber (§ 39) an das frontale Segment der Linsenkapsel sich ansetzt und eine mehr oder minder viereckige Form hat (Fig. 44).

Die Fische besitzen auch in ihrer Glashaut ein wohl entwickeltes Gefässsystem, das der Retina aufliegt, aber nirgends in dieselbe hinein sich fortsetzt. Es stammt aus dem *Nervus opticus* und besteht aus mehreren Stämmchen, die nach Abgabe einiger Zweige gerade nach Vorn laufen, bis sie sich ziemlich plötzlich verästeln und dann am hintern Rande des Strahlenkörpers zu einen Ringgefässe zusammentreten. Das letztere entsendet eine Anzahl feiner Aeste, die nach der Linse ausstrahlen und im Umkreis derselben ein ziemlich enges Netzwerk bilden. Nach Hyrtl findet sich diese *Art. hyaloidea* übrigens nicht bloss bei allen Arten von Knorpel- und Knochenfischen, sondern auch bei den ungeschwänzten

Batrachiern und den Schlangen. Bei den übrigen Wirbelthieren ist die Hyaloidea und ebenso auch die Linsenkapsel mit ihrem Inhalte im ausgebildeten Zustande beständig gefässlos.

Die Nebenapparate des Wirbelthierauges.

Petit, l. s. l.

J. Müller, Beiträge zur Anatomie und Naturgeschichte der Amphibien. Tiedemann's Zeitschrift für Physiologie. 1831. Bd. IV. S. 190.

Trapp, Symbolae ad anat. et physiol. organorum bulbum adjuv. et praecipue membranae nictitantis. Dissert. inaug. Turici 1836.

Reinhard, Dissert. de viarum lacrimal. in homine ceterisque animal. anat. et physiol. Lipsiae 1840.

Blumberg, Ueber die Augenlider einiger Hausthiere. Dorpat 1871.

Struthers, On the anatomy and physiol. of the oblique muscles of the eye in man and vertebrate animals. Monthly Journ. 1849.

Ausserdem natürlich die vergleichend-anatomischen Sammelwerke von Cuvier, Stannius u. A.

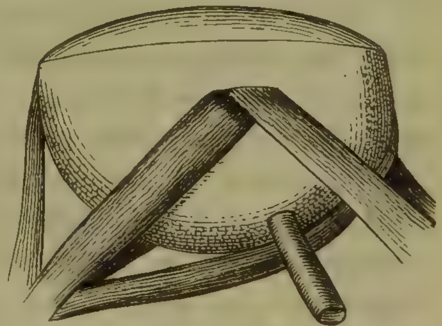
§ 54. Ausser dem eigentlichen Bulbus und der umgebenden Bindesubstanz enthält die Orbita der Wirbelthiere noch eine Anzahl von Organen, die mit dem Auge und seinen Functionen in einem innigen Zusammenhange stehen und als Nebenapparate hier zusammengefasst werden sollen. Sie dienen theils zur Bewegung des Bulbus, theils auch zum Schutze desselben, sei es nun, dass sie ihn vor mechanischen Insulten und einem allzu intensiven Lichte bewahren, sei es, dass sie seine freie Oberfläche reinigen und feucht erhalten. Es sind wie hieraus hervorgeht, dreierlei von einander verschiedene Gebilde, um die es dabei sich handelt, Muskeln, Lider und Drüsen, die alle drei je nach den Umständen in sehr verschiedener Weise entwickelt sind, auch nicht selten — es gilt das namentlich von den Lidern und Drüsen — in dieser oder jener Gruppe vollständig fehlen. Im Grossen und Ganzen schliesst sich der Bau derselben freilich wieder an die Verhältnisse an, die für den Menschen oben ihre ausführliche Darstellung gefunden haben.

§ 55. Die Arthrodialbewegung des Auges wird bei allen Wirbelthieren durch vier Muskeln vollzogen, die aus der Tiefe der Orbita geraden Weges (daher *Mm. recti*) nach Vorn laufen und sich in ziemlich gleichmässigen Entfernungen oben und unten, innen und aussen an die vordere Zone des Augengrundes ansetzen. Ihre Entwicklung zeigt je nach der Grösse und der Beweglichkeit des Auges beträchtliche Unterschiede. Bei den Säugethieren, besonders dem Walfisch, aber auch dem Elephanten u. a. von ansehnlicher, ja bisweilen sogar bedeutender Grösse, werden sie an den kleineren Augen anderer Thiere zu schwachen Faserbündeln, die man leicht übersehen kann. Am kümmerlichsten sind sie bei den Thieren mit rudimentären Augen, bei denen sie bisweilen sogar (Bdellostoma) völlig vermisst werden. Dass es aber nicht bloss die Grösse, sondern auch die Beweglichkeit des Auges ist, die in der Entwicklung dieser Muskeln ihren Ausdruck findet, beweisen namentlich die Vögel, deren Recti zu-

sammen nicht so viel wiegen, wie der schwächste dieser Muskeln (gewöhnlich der *R. superior*) an einem gleich grossen Säugethierauge. Freilich sind auch die Bewegungen des Vogelauges so wenig auffallend, dass man sie vielfach sogar völlig in Abrede stellen konnte. Die Kaltblüter haben gleichfalls ziemlich starre Augen, und dem entspricht auch hier die Bildung der Recti, obwohl einzelne Fälle vorkommen, in denen dieselben eine stärkere Entwicklung besitzen. So z. B. die Seeschildkröte und einzelne Haifische, unter letzteren besonders der Scymnus borealis, dessen Recti drei Mal so lang sind, wie die Augenachse, was sonst meines Wissens nur noch bei dem Elephant in ähnlicher Weise wiederkehrt. Sonst besitzen die Recti durchschnittlich etwa die doppelte Länge des Auges, bei den Vögeln sogar noch weniger. Freilich sind letztere auch diejenigen Wirbelthiere, bei denen die Recti den straffsten Verlauf haben. Nicht selten finden sich auch zwischen den Recti desselben Auges (besonders dem *R. externus* und *internus*) ganz ansehnliche Längenunterschiede, wie das schon aus dem Lagenverhältnisse der Orbital- und Augenachse als nothwendig hervorgeht. Am häufigsten und auffallendsten bei den Fischen, bei denen die *Recti interni* eine so spitzwinklige Insertion finden, dass sie die (unter ziemlich rechtem Winkel sich ansetzenden) *R. externi* gelegentlich um das Doppelte an Länge übertreffen.

Der Kugelform des Auges entsprechend weichen die Recti, von ihrer Ursprungsstelle an, natürlich immer weiter aus einander. Sie bilden gewissermaassen einen geschlitzten Trichter, dessen einzelne Streifen mehr oder minder weit von einander abstehen, je nach der relativen Breite, welche die Muskeln besitzen. Die Form des Trichters ist durch die Länge der Muskeln und den Querschnitt des Bulbus bestimmt, bei den Vögeln also auffallend flach, bei dem Elephanten dagegen und dem oben erwähnten Haifische von ansehnlicher Höhe. Der Innenraum enthält ausser dem Opticus eine lockere Bindesubstanz, bei den Fischen auch nicht selten einen Theil jenes Lymphraumes, dessen wir oben (S. 165) erwähnt haben, so dass die Muskeln denselben durchsetzen. Auch darin verhalten die Fische sich abweichend, dass die Insertionen der Recti, statt, wie sonst, das *Foramen opticum* zu umfassen, in mehr oder minder grosser Entfernung hinter demselben angebracht sind. Am auffallendsten ist das bei den Selachiern, bei denen die Eintrittsstelle des Sehnerven nach der Nasenseite abweicht (S. 191), und das *For. opticum* so weit nach vorn liegt, dass der Sehnerv mit der Achse des von hinten kommenden Muskelapparates einen nahezu rechten Winkel bildet. Der Eintritt in den Bulbus geschieht dicht neben dem untern Rande des *Rect. internus,* da etwa, wo die beiden äusseren Dritttheile des Muskels auf einander stossen. Auch bei den Knochenfischen liegt der gemeinschaftliche Ausgangspunct des Muskeltrichters in einiger Entfernung hinter dem *For. opticum,* zugleich aber auch etwas tiefer. Bei den Stachelflossern und einer Anzahl von Weichflossern (Lachs, Häring) vertieft sich diese Insertionsstelle sogar zu einem förmlichen Canale, der eine Strecke weit in der Schädelbasis nach Hinten hinzieht.

Fig. 61.



Bulbus von Spinax Acanthias mit Muskeln und Opticus. *Zur Rechten die Obliqui.*

Zu diesen vier geraden Muskeln gesellen sich sehr allgemein bei den Wirbelthieren noch zwei schiefe, die von der obern und untern Fläche des Auges in nahezu äquatorialer Richtung nach der Nasenseite verlaufen und somit eine Art Gürtel um den Bulbus bilden. Für sich allein würde jeder dieser Muskeln das Auge nahezu um die Längsachse drehen, allein es scheint, dass sich die Wirkung derselben immer nur mit der eines andern Muskels combinirt, auch gelegentlich, besonders bei der Contraction des *M. externus* mehr in einer Fixation, als einer Bewegung ausspricht. Am auffallendsten ist die Abweichung von der Aequatorialrichtung bei den Fischen, bei denen der Winkel, in welchem die Obliqui die Augenachse schneiden, nur wenig von jenem abweicht, der von dem *Rectus superior* und *inferior* mit derselben Achse gebildet wird.

Bei der grösseren Mehrzahl der Wirbelthiere inseriren sich beide Muskeln dicht über einander an der Nasenwand der Orbita, so dass sie, von einzelnen unbedeutenden Abweichungen abgesehen, einander entsprechen. Nur die Säugethiere verhalten sich — mit Ausnahme der Cetaceen, die sich (nach Rudolphi) hierin an die niederen Wirbelthiere anschliessen — insofern abweichend, als der *Obliquus superior* bis zur Nasenwand eine nur sehnige Beschaffenheit hat. Der Muskelbauch desselben entspringt in der Tiefe der Orbita neben den *Mm. recti* und verläuft von da nach dem nasalen Ende der eben erwähnten Sehne, die durch eine fest mit dem *Proc. maxillaris ossis frontis* verbundene faserknorpliche Rolle (daher auch *Musc. trochlearis*) hindurchtritt, um dann erst die oben erwähnte quere Richtung einzuschlagen. Trochlea und Ansatzstelle des *Obliquus inferior* sind dabei[1]) durch einen weiten Zwischenraum von einander getrennt. Auf diese Weise wird der *Obl. superior* bei den Säugethieren zu einem sehr ansehnlichen Muskel, obwohl derselbe sonst hinter dem *Inferior* zurücksteht.

Noch mannichfaltiger sind übrigens die Verschiedenheiten, die das Augenende der Obliqui darbietet. Im Allgemeinen liegen die Insertionen derselben neben denen der *Recti superior* und *inferior* und zwar entweder auf gleicher Höhe mit ihnen oder weiter nach der Schläfenseite zu, so dass die Enden der Muskeln einander sich annähern und die oben hervorgehobene Aehnlichkeit mit einem Gürtel besonders deutlich hervortritt. So namentlich bei den Säugethieren, am auffallendsten, so weit ich sehe, bei dem Chimpanse, bei dem es übrigens im Gegensatze zu dem sonst gewöhnlichen Verhalten nicht der *Obl. superior* ist, sondern der *Obl. inferior*, der am weitesten nach dem *Rect. externus* zu — gleichzeitig auch, ungewöhnlicher Weise, nach Hinten, gegen den Opticuseintritt — vorschiebt. Nur bei den Fischen liegt die Insertion der Obliqui grossentheils nach Vorn von den betreffenden Recti und, soweit beide sich decken, nach Aussen von denselben. Auch bei den Vögeln findet sich die Verbindung des *Obliquus inferior* mit der Sklera an der Aussenfläche des Rectus. Gleiches sehe ich beim Elephant, während sonst die schiefen Augenmuskeln nach Innen von den geraden liegen, resp. unter denselben hinlaufen. In letzterer Hinsicht macht übrigens auch der Chimpanse eine Ausnahme, insofern die Kreuzung des *Obliquus inferior* mit dem Rectus hier wieder auf der Vorderfläche stattfindet.

---

1) Vgl. das Verhalten des Menschen. Th. I, S. 55, Fig. 29.

Durch die von Rudolphi[1]) beim Tiger beobachteten Verhältnisse werden übrigens diese Unterschiede grossentheils ausgeglichen. Es finden sich hier nämlich beide Insertionen an den Obliqui, und zwar dem obern eben so gut, wie dem untern, indem die Sehne vor ihrer Verbindung mit dem Auge sich spaltet und die Recti dann zwischen sich nimmt. Bei dem Löwen ist diese doppelte Insertion bloss an dem *Rectus superior* vorhanden. Aehnlich sehe ich es bei der Seeschildkröte, nur betrifft die Spaltung hier nicht die Sehne, sondern die Muskulatur. Ueberdiess ist die vordere Ansatzstelle weit schwächer, als die hintere. Auch die unteren Muskeln zeigen eine Spaltung, jedoch nicht am Obliquus, sondern am Rectus, so dass der erstere zwischen den beiden Köpfen des letzteren seinen Ansatz findet. (Fig. 63.)

§ 56. Bei dem Menschen beschränkt sich die Zahl der Augenmuskeln auf die voranstehend beschriebenen. Ebenso verhält es sich bei den Affen, während die übrigen Säugethiere daneben sämmtlich noch einen sog. *Retractor oculi* besitzen, einen Muskel also, der das Auge nach Hinten in die Orbita zurückzieht. Natürlich kann das nur da geschehen, wo der übrige Inhalt der Orbita dem andrängenden Auge durch Ausweichen Platz zu machen im Stande ist, also bloss bei solchen Thieren, bei denen die Augenhöhle nach der Schläfenseite hin offen steht. Die allseitig von Knochenwänden umgebene Orbita des Menschen und Affen (S. 164) schliesst die Möglichkeit einer derartigen Bewegung aus; das Fehlen des betreffenden Muskels ist hiernach selbstverständlich.

Nach Bau und Anlage hat dieser Rückziehemuskel die grösste Aehnlichkeit mit den vier Recti. Gleich letzteren bildet er eine trichterförmige Masse, die aus der Tiefe der Orbita gegen den Augengrund gerichtet ist und den Opticus in sich einschliesst. Natürlich liegt der Retractor im Innern des Raumes, den die Recti umschreiben, wie er denn auch in einiger Entfernung dahinter seine Insertion findet.

Seine stärkste Entwicklung erreicht dieser Muskel bei den grössern Pflanzenfressern, bei denen auch der Vergleich mit einem Trichter vollständig zutrifft, indem die Muskelmasse zu einer geschlossenen Scheide wird, deren vorderes Ende sich mit vier Zipfeln in den Zwischenräumen der Recti an den Bulbus festsetzt. Bei den Cetaceen (wenigstens, wie ich sehe, dem Walfisch und Delphin), nach Cuvier auch dem Rhinoceros, ist die Scheide in eine obere und untere Hälfte zerfallen, und bei den Raubthieren spaltet sie sich sogar in vier Portionen, die als selbstständige Muskeln zwischen den vier Recti hinziehen, so dass es den Anschein hat, als wenn die Zahl der letzteren verdoppelt wäre.

Die Ursprungsstelle des *M. retractor* liegt nicht im Umkreis des Sehlochs, sondern neben demselben, so dass der Opticus erst durch einen Schlitz in die Muskelmasse eintritt. Seine Nerven erhält er aus dem sechsten Paare.

Unter den übrigen Wirbelthieren wird der Rückziehemuskel nur noch bei den Schildkröten (Fig. 63.), den Krokodilen, Eidechsen und den ungeschwänzten Batrachieren gefunden.

1) Grundriss der Physiologie. Bd. II. S. 168.

Aber dieser *M. retractor* ist nicht der einzige Augenmuskel, der neben den sonst gewöhnlichen vorkommt. Man braucht nur bei den Vögeln die hintere Fläche des Bulbus zu betrachten, um durch eine abermals neue und noch dazu sehr zierliche Muskeleinrichtung überrascht zu werden. Es sind zwei Muskeln, die in ganzer Ausdehnung auf dem Augengrunde aufliegen, ein oberer, der sog. *M. quadratus*, von allen Muskeln des Vogelauges der grösste, und ein unterer, der seiner Form entsprechend als *M. pyramidalis* bezeichnet wird.

Fig. 62.



Nickhautmuskeln des Bussard.

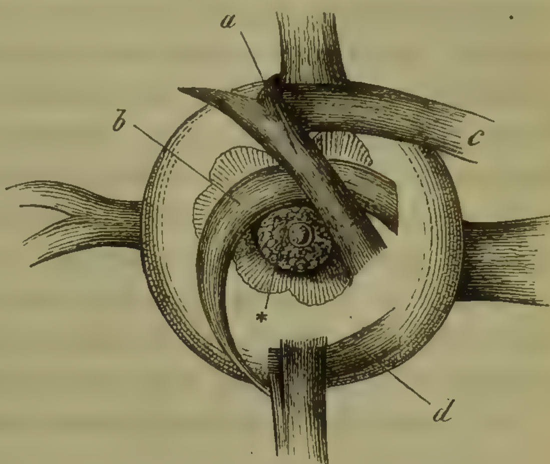
Der erstere nimmt, besonders bei den Raubvögeln, reichlich den dritten Theil des gesammten Augengrundes in Anspruch. Er entspringt vom obern Rande desselben, unterhalb des *Rectus* und *Obliquus superior* und läuft von da bis in die Nähe des Opticus, wo er eine kurze saumartige Sehne bildet, die in ganzer Ausdehnung von einem Canale durchsetzt wird. Dieser letztere dient zur Aufnahme der fadenartig schlanken Sehne des *M. pyramidalis*, welcher, vom innern Rande des *Rectus inferior* theilweise bedeckt, nach Oben zu dem *M. quadratus* emporsteigt, um, wie das schon angedeutet wurde, mit seiner Sehne dann in den Sehnencanal des letzteren, wie in eine Rolle, einzutreten und denselben von Innen nach Aussen, den Opticus bogenförmig umkreisend, in ganzer Länge zu durchsetzen. Von da verläuft die Sehne auf der Aussenhälfte des Augengrundes nach Abwärts bis zum unteren Rand, von dem sie zwischen *R. inferior* und *externus* abermals durch eine kleine Rolle auf den trichterförmigen Verbindungstheil übergeleitet wird. Hier kaum angekommen, schlägt sie, vom unteren Lid bedeckt, eine quere Richtung ein, bis sie schliesslich an das untere Ende der sog. Nickhaut tritt und in die Bindesubstanz derselben ausstrahlt.

Der hier beschriebene Muskelapparat dient, wie das schon von Stenon ganz richtig erkannt ist, nicht zur Bewegung des Auges, sondern zur Bewegung eben dieser Nickhaut, die wie ein halb durchsichtiger Vorhang bei den Vögeln blitzschnell von Zeit zu Zeit unter den Augenlidern über den Bulbus hinzieht, während die Lider selbst ihre Stellung für gewöhnlich unverändert beibehalten. Die Bewegung geschieht durch die gleichzeitige Contraction beider Muskeln, von denen der eine (*M. pyramidalis*) seine Verkürzung direct auf die Spannsehne der Nickhaut überträgt, während der andere (*M. quadratus*) durch seine Zusammenziehung den Weg der Sehne vergrössert, zugleich auch verhindert, dass dieselbe, wie das sonst leicht geschehen könnte, in Folge der Muskelcontration auf den Nerv selbst aufdrückt. Die Innervation geschieht wie die des Retractor und *Rect. externus* durch den Abducens.

Die Vögel sind übrigens nicht die einzigen Wirbelthiere mit diesem Muskelapparate. Wir finden ihn auch mit mehr oder minder grossen Veränderungen bei den Eidechsen, Krokodilen und Schildkröten. Bei den letzteren hat er allerdings das früher so elegante Aussehen mit einer viel plumperen Bildung vertauscht, die natürlich auch in dem gesammten Bewegungsmechanismus einen entsprechenden Ausdruck findet. Es ist besonders der *Musculus quadratus*, der seine frühere Beschaffenheit verändert hat und das in solchem Grade, dass seine Beziehungen zu dem betreffenden Muskel des Vogelauges bis jetzt kaum Beachtung gefunden haben. Er ist in einen langgestreckten schmalen Muskel verwan-

delt, der von dem Aussenrande des *Rectus superior* in diagonaler Richtung nach dem Zwischenraum zwischen *Rectus internus* und *inferior* hinläuft und sich hier oberhalb des *Obliquus inferior* an der Sklera befestigt. Abweichend von diesem unteren Ende ist das obere in zwei Köpfe gespalten, von denen der eine hart am Aussenrande des *Rect. superior* mit der Sklera sich verbindet, während der andere den Verlauf nach Oben und Aussen noch eine Strecke weit fortsetzt, um sich schliesslich im äusseren Winkel der Augenspalte an das obere Lid anzusetzen. Der *M. pyramidalis* erscheint gleichfalls als ein ziemlich schlanker und langer Muskel, der in bogenförmigem Verlaufe oben und aussen um den Opticus resp. Retractor herumläuft, bis er am unteren Aussenrande des *Rectus inferior* in eine kurze Sehne übergeht, die dann auf der Vorderfläche des Bulbus, wie bei den Vögeln, an die Nickhaut tritt. Statt der bei den letzteren vorkommenden Sehnenverbindung zeigen beide Muskeln an der Kreuzungsstelle, d. h. da, wo der *M. pyramidalis* im oberen Meridiane des Auges unter dem *M. quadratus* hinläuft, einen durch reichlichen Faseraustausch vermittelten Zusammenhang.

Fig. 63.



Augengrund, von Chelonia Mydas mit den daran sich ansetzenden Muskeln. *a* M. quadratus, *b* M. pyramidalis, *c* Obliquus superior, *d* O. inferior. Bei * der Opticus mit seinem Retractor.

Die gleichfalls mit einer Nickhaut versehenen Frösche entbehren des hier beschriebenen Muskelapparates. Ihre Nickhaut wird mittelst des *Retractor bulbi* bewegt, so dass sie jedes Mal über das Auge hinschiebt, sobald dieses nach Hinten zurückweicht. Die Combination beider Bewegungen ist durch eine Sehne vermittelt, die von den Seitenwinkeln der in ganzer Länge der *Palpebra inferior* aufsitzenden Nickhaut ausgeht oder richtiger vielmehr eine Fortsetzung des vorderen Nickhautrandes darstellt und bogenförmig um die untere Fläche des Bulbus herumgreift. Da dieser Bogen nun aber mit dem Augapfel sowohl, wie mit dem *Retractor bulbi* durch ein ziemlich festes Bindegewebe verbunden ist, und letzterer das Auge nicht bloss nach rückwärts, sondern gleichzeitig auch nach abwärts zieht, so beschreibt die Sehne natürlich die gleiche Bewegung, was seinerseits dann ein Aufschlagen der Nickhaut zur Folge hat. [1])

Auch bei den Säugethieren dient der *Musc. retractor* zum Vorschieben der Nickhaut, obwohl ein anatomischer Zusammenhang zwischen beiden Gebilden nicht stattfindet. Um den Contractionseffect des Muskels auf dieselbe zu übertragen, besitzt letztere, die, gleich der ihr entsprechenden *Plica semilunaris* des menschlichen Bulbus dem innern Augenwinkel angehört, einen halbmond- oder schaufelförmig gekrümmten flachen Knorpel, der sich nach Innen in Form eines mehr oder minder langen und breiten, gleichfalls abgeflachten Stieles fortsetzt und mittelst desselben zwischen Bulbus und Nasenwand der Augenhöhle sich einschiebt. Die in dicker Schicht aufliegende Bindesubstanz giebt letzterm eine

1) Manz, Beitr. der naturf. Gesellsch. zu Freiberg. 1862. II. S. 391.

keulenförmige Gestalt und eine glatte, fast schlüpfrige Oberfläche. Spannt sich nun der *M. retractor* an und zieht das Auge dabei sich zurück, so nimmt der Druck des Bulbus gegen den Knorpel immer mehr zu, bis dieser schliesslich ausweichend nach Vorn vorspringt und die von dem schaufelförmigen vorderen Endstück fast bis zum Rande durchsetzte Nickhaut über die innere Augenfläche vorschiebt. Das Zurückziehen der Nickhaut geschieht, wie das Vortreten des Auges, vornehmlich durch elastische Kräfte. Die in früherer Zeit mehrfach (zuerst von Blainville beim Elephanten, später von Albers, Rudolphi und besonders von Rosenthal in Blumenthal's Dissert. de externis oculorum tegumentis. Berol. 1812. p. 8) beschriebenen specifischen Nickhautmuskeln haben durch neuere Beobachtungen keine Bestätigung gefunden.

Bei den Haifischen, die in einigen Arten (Hundshai, Hammerfisch u. a.) gleichfalls eine Nickhaut besitzen, geschieht die Bewegung nur durch glatte Muskelfasern, die theils aus der Conjunctiva auf dieselbe übertreten, theils auch in die Auskleidung der Orbita sich fortsetzen.

§ 57. Die Erwähnung der Nickhaut führt uns zur Betrachtung der bei den Wirbelthieren in mannichfachster Ausbildung vorhandenen Augenlider. Zum Schutze gegen mechanische Insulte und allzu grelles Licht bestimmt, gelangen dieselben eigentlich nur bei den Landthieren zu ihrer vollen Entwicklung. Die Wasserthiere bedürfen derartiger Einrichtungen nur in geringem Grade und können sie vielfach sogar ohne besonderen Nachtheil gänzlich entbehren, wie wir das in der That auch bei der grösseren Anzahl der Fische beobachten.

In der Regel erscheinen die Augenlider unter der Form zweier Hautfalten, die, wie bei dem Menschen, vom oberen und unteren Aussenrande der Orbita sich erheben und der Oberfläche des Auges aufliegen. Der Zusammenhang mit der letzteren wird durch die Conjunctiva vermittelt, die sich an der Wurzel der Lider direct auf die Innenfläche derselben fortsetzt und erst am Rande den Bau der gewöhnlichen Hautoberfläche annimmt. Die Dehnbarkeit und lockere Beschaffenheit der Umbiegungsstelle, des sog. *Fornix*, setzt der Bewegung sowohl des Augapfels, wie auch der Lider keinerlei Hindernisse entgegen, zumal die hervorgehobenen Eigenschaften mit dieser Bewegung in geradem Verhältniss zunehmen. In vielen Fällen ist die Haut des Fornix in förmliche Falten gelegt und bei den Seeschildkröten sogar von demselben wabenartigen Aussehen, wie die Innenfläche des Darmes.

Zu diesem oberen und unteren Augenlid kommt nun aber bei der grösseren Mehrzahl der Landthiere — ausser Mensch und Affen sind eigentlich nur die Schlangen und vielleicht einige Eidechsen ausgenommen — noch die sog. Nickhaut (*Membrana nictitans*), die man nicht selten auch als drittes Augenlid bezeichnet, obwohl sie nach Bau und Beschaffenheit eine Duplicatur nicht der gewöhnlichen Haut, sondern der Conjunctiva darstellt. Sie liegt im zurückgezogenen Zustande grossentheils unter den eigentlichen Lidern und erstreckt sich vom innern Augenwinkel, den sie zunächst einnimmt, an der Unterfläche des Bulbus mehr oder minder weit nach Aussen resp. Hinten, bei den Fröschen (in geringerm Grade auch bei den Haifischen) in ganzer Länge dem unteren Augenlid aufsitzend. Zur bessern Aufnahme der Nickhaut greift der Bindegewebswinkel an der betreffenden Stelle weit über das sonst gewöhnliche Maass in die Tiefe.

Am grössten und vollständigsten ist die Nickhaut der Vögel und Frösche, die mit Leichtigkeit die ganze Aussenfläche des Bulbus überspannt, während sonst gewöhnlich ein mehr oder minder grosser Theil derselben frei bleibt. Dass sie bei den Menschen und Affen zu der sog. *Plica semilunaris* reducirt ist, haben wir schon oben gelegentlich hervorgehoben. Ihre Verkümmerung steht begreiflicher Weise mit dem Mangel eines Rückziehemuskels in Zusammenhang und ist für die betreffenden Geschöpfe um so weniger von Bedeutung, als diese in ihrem Zeigefinger ein Instrument besitzen, das zum Reinigen des Auges eben so geschickt und brauchbar ist, wie sonst die Nickhaut. Bei der eben erwähnten Function der Reinigung kommt für die Nickhaut übrigens besonders der Umstand in Betracht, dass der zunächst auf der Augenwand hinschiebende Rand dicht anliegt und überdiess gewöhnlich eine ziemlich feste und scharfe Beschaffenheit besitzt. So namentlich bei den Säugethieren, bei denen der oben erwähnte Knorpel mit seiner vorderen Ausbreitung bis fast unmittelbar in diesen freien Rand hineinreicht. Die zahlreichen Formverschiedenheiten des Knorpels sind schon oben angedeutet, so dass wir nur noch der Grössenunterschiede hier zu gedenken haben. Von besonderer Entwicklung findet man ihn bei den grösseren Pflanzenfressern, während die Raubthiere verhältnissmässig zurückstehen. Die Nickhaut der Affen enthält trotz ihrer rudimentären Beschaffenheit gleichfalls einen Knorpel, aber ohne den hinteren Fortsatz. Er bildet eine kleine länglich ovale Scheibe, die bei dem Chimpanse 10 Mm. lang und 5 Mm. breit ist. Wie überall bei den Säugethieren enthält er in dichtgedrängter Masse die schönsten Knorpelzellen.

Uebrigens sind die Säugethiere allem Anscheine nach die einzigen Wirbelthiere mit Hyalinknorpel in der Nickhaut. Allerdings besitzt die Nickhaut auch bei den Eidechsen einen zarten Randknorpel und bei den Schildkröten sogar eine feste Schuppe von beträchtlicher Grösse, allein die mikroscopische Untersuchung lässt darin (Chelonia) keinen echten Knorpel, sondern ein festes Bindegewebe erkennen, ganz derselben Beschaffenheit, wie es den sog. Lidknorpel der Säugethiere bildet. Sonst besteht das Gewebe der Nickhaut überall aus einer weichen Bindesubstanz mit Bündeln, die in verschiedener Richtung verlaufen und bei den Vögeln reichlich von elastischen Fasern durchsetzt sind. Dazu kommen dann Blutgefässe und Nerven in spärlicher Menge. Bei den Haifischen finde ich darin noch glatte Muskelfasern, wie solche (nach H. Müller) auch in der *Plica semilunaris* des Menschen vorkommen. Vielleicht reducirt sich auch der sog. Nickhautmuskel der Säugethiere auf die Anwesenheit derartiger Elemente. Der Epithelüberzug enthält in vielen Fällen Pigmentzellen, besonders am freien Rande, der nicht selten eine ganz prononcirte Färbung hat, bei den Fröschen auch Hautdrüsen, wenngleich in grösseren Zwischenräumen, als sonst am Körper. Die Nickhaut der Haifische ist an der Aussenfläche sogar chagrinirt, wie die Augenlider und die übrige Haut. Allerdings bleiben die festen Einlagerungen an Grösse etwas zurück, aber sie stehen eben so dicht beisammen und lassen nur den untern eingefalteten Theil des Lides frei.

Wo die Nickhaut am häufigsten und leichtesten sich bewegt, bei den Vögeln und Fröschen, hat sie im gespannten Zustande eine so dünne und durchsichtige Beschaffenheit, dass sie die Deutlichkeit und Schärfe des Sehens nur wenig beeinträchtigen dürfte. In anderen Fällen ist sie dafür dick und undurchsichtig.

§ 58. Wie die Selachier die einzigen Wasserthiere sind, die gelegentlich eine Nickhaut besitzen, so sind sie auch die einzigen Fische mit wirklichen Augenlidern. Bei den Neunaugen und Knochenfischen kommt es nirgends zur Entwicklung solcher Gebilde, obwohl unter den letzteren, besonders den Stachelflossern, nicht bloss zahlreiche Arten gefunden werden, bei denen die Haut im Umkreis des Bulbus eine nach Innen einspringende Falte schlägt, so dass sich der Ueberzug des Auges scharf gegen die übrigen Bedeckungen absetzt, sondern auch solche, bei denen die Augenhaut innerhalb der Falte wulstförmig vorspringt und ein Polster bildet, das gewöhnlich von Runzeln durchzogen wird und nicht selten auch noch die Färbung der Körperhaut zeigt. Am stärksten und breitesten sind diese Wülste gewöhnlich am oberen Augenrande (Trigla, Serranus, Priacanthus u. a.), den sie dann halbmondförmig säumen, doch greifen sie gelegentlich auch weiter nach Unten, bis sie schliesslich (Cottus scorpius, Orthagoriscus) das ganze Auge ringförmig umfassen. Bei dem Mondfisch will Cuvier in diesem Ringwulste einen Sphincter und eine Anzahl radiärer Dilatatoren gefunden haben, allein Leydig stellt auf Grund seiner Untersuchungen deren Anwesenheit in Abrede. Das hindert jedoch nicht, die Wülste als die erste Andeutung der Lider zu betrachten. Allerdings liegen dieselben innerhalb der oben erwähnten Ringfalte, allein diese entspricht offenbar weniger dem sog. Fornix, als vielmehr der Falte, die bei den höheren Thieren gewöhnlich im Umkreis des Orbitalrandes, also nach Aussen von den Lidern, gefunden wird. Dazu kommt, dass auch die wahren Lider bei den Chamäleonten eine ringförmige Bildung haben und statt der sonst gewöhnlichen Spalte eine mehr pupillenartige Oeffnung besitzen. Dass dieselben von der Oberfläche des Bulbus getrennt sind und eine mehr oder minder vollständige Musculatur besitzen, kann keinen durchgreifenden morphologischen Unterschied abgeben.

In Bezug auf die Conjunctiva der Fische ist schon früher gelegentlich hervorgehoben, dass sie trotz ihrer Dünne und Durchsichtigkeit vielfach noch die histologischen Eigenschaften der gewöhnlichen Körperhaut habe. Am vollständigsten bei den blinden Fischen, denen unter den einheimischen Thieren bekanntlich auch die Jugendformen der Neunaugen (S. 205) zugehören. Bei Myxine kann man nicht einmal mehr von einer Conjunctiva sprechen, da die Haut — wie das übrigens auch bei dem blinden Höhlensalamander der Fall ist — unverändert über das Auge hinzieht und sogar noch durch eine Muskellage davon getrennt ist. Aber auch bei den gewöhnlichen Fischen behält die Conjunctiva nicht selten stellenweise noch ganz die Beschaffenheit der gemeinen Körperhaut. Und das nicht etwa bloss an den oben erwähnten lidartigen Wülsten, die dem Augapfel in mehr oder minder grosser Ausdehnung aufliegen, sondern auch an anderen Stellen, wie denn z. B. die Maifische, Makrelen u. a. nur in der Mitte des Auges, vor der Pupille, eine eigentliche Conjunctiva besitzen, während der übrige Theil, besonders das vordere und hintere Segment, von einer pergamentartig dicken Haut bedeckt ist. Bei Raja fullonica trägt die *Conjunctiva corneae* sogar spitze Hautknochen, wie der übrige Körper (Trapp). Dass sie bei den mit Nickhaut versehenen Haifischen glatte Muskelfasern enthält, ist schon oben bemerkt worden. Ebenso ist es bei den Eidechsen, bei denen diese Fasern[1]) allseitig gegen die Lider hin ausstrahlen.

1) Leydig, Die einheimischen Saurier. Tübingen 1871. S. 81.

Die Augenlider, die wir den Selachiern oben vindicirt haben, sind übrigens in Vergleich mit denen der höheren Thiere, und besonders der Säugethiere, gleichfalls nur sehr unvollkommene Bildungen. Eine directe Fortsetzung der äusseren Körperhülle erheben sie sich von dem unteren und oberen Orbitalrande, um die anliegenden Theile des Bulbus klappenartig zu bedecken. Sie sind allem Anscheine nach einer selbstständigen Bewegung unfähig und bei den Rochen auch oben noch in ganzer Ausdehnung mit dem Bulbus verbunden. Da eine jede Abgrenzung gegen den benachbarten Körper fehlt, geht natürlich auch der Schuppenbesatz ohne Unterbrechung auf die Aussenfläche über.

Bei den übrigen Wirbelthieren ist die Wurzel der Augenlider durch Einfaltung gegen die Gesichtshaut abgesetzt, auch der Hautüberzug gewöhnlich dünn und zart. Beiderlei Eigenschaften entsprechen der Beweglichkeit der Lider und sind im Allgemeinen um so stärker ausgeprägt, je grösser diese ist. Am wenigsten bei den Seeschildkröten und Walfischen, deren Lider schon durch ihre plumpe Form und Dicke verrathen, wie gering die Verschiebbarkeit ist, die sie besitzen. Ebenso sind die starren oberen Augenlider der Reptilien kaum abgesetzt und oftmals mit Hautknochen gedeckt, die den unteren abgehen. Auch bei den Vögeln stehen die oberen Augenlider gewöhnlich an Beweglichkeit hinter den unteren zurück, aber beide sind von gleicher Beschaffenheit, weich und dünn, und in der Ruhe so zusammengeschoben, dass der Bulbus fast in ganzer Ausdehnung unbedeckt aus der Augenspalte hervorragt. Ebenso verhalten sich die Frösche, so dass man bei flüchtiger Betrachtung fast einen völligen Lidmangel vermuthen könnte. Den Schlangen hat man auch wirklich in früherer Zeit die Lider abgesprochen, indess gleichfalls mit Unrecht, wie das von J. Müller zuerst nachgewiesen ist. Nur insofern verhalten diese Thiere sich eigenthümlich, als das untere, in ganzer Ausdehnung durchsichtige Lid vor dem Bulbus emporgezogen und durch Randverwachsung dem oberen verbunden ist. Bei mikroscopischer Untersuchung erkennt man in dieser sog. Kapselhaut eine Bindegewebslage, die von der Cutis ausgeht, und nach Aussen darauf die zellige Epidermis. Der darunter hinziehende Hohlraum ist von einem zarten Plattenepithelium ausgekleidet (Leydig).

Dass die Säugethiere an ihren Lidrändern gewöhnlich Wimpern tragen, wie der Mensch, ist zur Genüge bekannt. Sie sind zum Schutze des Auges stärker entwickelt und regelmässiger angeordnet, als die Haare, die sonst den Lidern aufsitzen und gelegentlich gleichfalls (beim Hund, Schwein u. a.) zu einer ziemlichen Grösse heranwachsen, so dass der Unterschied zwischen beiden dann lange nicht so auffällt, wie bei den Menschen. Der ansehnlichen Dicke entsprechend sind die Wimpern auch mit stärker entwickelten Talgdrüsen versehen, als solche sonst auf den Augenlidern vorkommen. Bei vielen, besonders grösseren Arten, finden sich auch Schweissdrüsen (Blumberg). Zu den wimperlosen Säugethieren gehören ausser den Cetaceen u. a. die Katzen.

Auch unter den Vögeln giebt es Arten mit Augenwimpern, wie Strauss, Geier, Secretair u. a. Gewöhnlich aber ist die Stelle derselben durch Pinseldunen oder Federchen mit schwacher Fahne vertreten, durch Gebilde, wie sie, an Grösse und Entwicklung nur wenig zurückstehend, auch sonst gar häufig auf

der Lidfläche der Vögel gefunden werden. Freilich kennen wir daneben auch Arten mit nackten und wimperlosen Lidern (Papageien u. a.).

Das Vorkommen der Meibom'schen Drüse ist aller Wahrscheinlichkeit nach auf die Gruppe der Säugethiere beschränkt, obwohl manche Anatomen (Petit, Tiedemann, Cuvier) solche auch, wenngleich beträchtlich kleiner, bei den Vögeln gefunden haben wollen. Dass sie selbstständige Bildungen sind und keineswegs etwa die Talgdrüsen der Wimpern darstellen, beweist nicht bloss der Besitz einer eignen Drüsenöffnung, sondern noch schlagender der Umstand, dass beiderlei Bildungen häufig (Hund, Schwein, Pferd, Rind) neben einander gefunden werden. In ihrer Gestalt sind sie allerdings nicht selten den anliegenden Talgdrüsen ähnlich, unregelmässig sackförmig beim Schweine, traubenförmig beim Hunde, in anderen Fällen gefiedert u. s. w. Die Zahl wechselt von 20—40, doch liegen die Schläuche immer nur in einer einzigen Reihe, bald und gewöhnlich, wie bei den Menschen, von dem sog. Lidknorpel umschlossen, bald auch (wie z. B. bei dem Schweine) in ein weiches Bindegewebe eingebettet, das dem Knorpel vorausgeht.

Was nun übrigens diesen Lidknorpel (*Tarsus*) betrifft, so ist derselbe in der bei dem Menschen beschriebenen Form gleichfalls nur bei den Säugethieren vorhanden. Und auch hier nicht einmal ganz allgemein, da das Bindegewebe, welches — an Stellen wahrer Knorpelsubstanz — denselben bildet, in manchen Fällen (schon beim Hunde) weniger fest verfilzt ist und weicher bleibt, so dass es dann kaum in selbstständiger Form aus der Innenmasse des Lides sich hervorschälen lässt. Auch in Gestalt und Grösse zeigt der Knorpel mancherlei Unterschiede.

Bei den Vögeln ist nur das beweglichere untere Lid mit einem Knorpel ausgestattet. Er liegt in einiger Entfernung vom Rande, nahezu in der Mitte des Lides, dicht unterhalb der Conjunctiva und hat die Form einer querovalen Scheibe oder einer flachen Schüssel, deren Concavität natürlich dem Bulbus zugekehrt ist. Am ansehnlichsten ist der Knorpel bei den Raub- und Hühnervögeln, wogegen er den Papageien zu fehlen scheint. In Betreff seiner histologischen Bildung stimmt er vollständig mit dem Tarsus der Säugethiere überein. Dasselbe gilt für die Eidechsen, deren unteres Lid gleichfalls einen schüsselförmigen Knorpel einschliesst. Die Haut, welche äusserlich darüber hinzieht, hat bei den einheimischen Eidechsen eine auffallende Glätte. In anderen Fällen (Scincoiden) verdünnt sie sich mitsammt dem Mittelfelde des Knorpels zu einem durchsichtigen Fenster, das rahmenartig von dem Knorpelrande umspannt wird und auch bei geschlossenen Augen noch ein Sehen zulässt. Bei geeigneter Bildung würde dieses Fenster sogar als Brille dienen und das Auge für bestimmte Entfernungen accommodiren können. Dass andererntheils dadurch eine Annäherung an die oben erwähnten Verhältnisse der Schlangen geboten wird, kann um so weniger zweifelhaft sein, als es auch Eidechsen giebt (Geckonen), denen die gleiche Bildung zukommt.

Das von Leydig in den Lidern von Lacerta gesehene System von Lymphräumen finde ich auch bei der Seeschildkröte, bei der es im unteren und oberen Lide zu einer mächtigen Entwicklung gelangt, so dass das Gewebe der tiefen Bindegewebsschichten — die oberen zeigen den charakteristischen Bau der Cutis — eine fast spongiöse Beschaffenheit annimmt.

Die Bewegung der Augenlider wird durch einen **Muskelapparat** vollzogen, der sich aus einem Schliessmuskel und einer wechselnden Anzahl von Levatoren zusammensetzt, in den einzelnen Fällen aber eine sehr ungleiche Entwicklung hat. Am constantesten ist der Schliessmuskel, der, so viel bekannt, nur den Arten mit gänzlichem oder nahezu gänzlichem Mangel von Lidmuskeln, den Schlangen, Fröschen und Haifischen, abgeht. Er besteht aus einem Sphincter (*M. orbicularis*), dessen Fasern unter der Aussenhaut der Lider kreisförmig um die Lidspalte herumlaufen. Bei den Säugethieren und dem Chamäleon ist er über die ganze Fläche der Lider ausgebreitet und in beiden von nahezu gleicher Stärke, während er sonst (auch schon bei den Cetaceen) im oberen Lide gewöhnlich eine geringere Entwicklung hat und auf den freien Rand beschränkt ist. Bei den Vögeln und Eidechsen tritt er im unteren Augenlide mit dem hier vorkommenden schüsselförmigen Knorpel in Verbindung.

Ausser diesem Orbicularis hat der Mensch bekanntlich nur noch einen *Levator palpebrae superioris*, der in der Tiefe der Orbita neben den *M. recti* entspringt und von ansehnlicher Stärke ist. Da die übrigen Säugethiere (mit Ausschluss der Cetaceen) den Menschen in der Grösse und der Beweglichkeit des oberen Lides gleichen, so werden wir mit Recht auch bei ihnen von vorn herein denselben Levator vermuthen. Daneben aber besitzen die grösseren Pflanzenfresser in dem sog. *M. malaris externus* noch einen eigenen *Depressor palpebrae inferioris*. Für die morphologische Auffassung des Levator ist es von Wichtigkeit, dass derselbe bei dem Delphin durch einen platten Muskel vertreten wird, der im Umkreis des *Foramen opticum* entspringt und in Form eines geschlossenen Trichters (die Bildung der Recti und des Retractor wiederholend) um das Auge herumläuft, bis er oben und unten in den Lidapparat ausstrahlt (Stannius).

An diese Bildung schliesst sich das Verhalten der Vögel und Reptilien an, bei denen nicht bloss der *Levator*, sondern auch der *Depressor palpebrae* in der Tiefe der Augenhöhle — beide gewissermaassen als Theile einer gemeinschaftlichen Muskelmasse — seinen Ursprung nimmt. In Stärke und Entwicklung ist dieser Depressor sogar dem Levator überlegen, wie das bei der vorwaltenden Bedeutung des unteren Lides auch nicht anders zu erwarten war. Bei den Vögeln und Eidechsen inserirt sich derselbe an dem hinteren Rande des schüsselförmigen Knorpels.

Bei den Fröschen ist der *Levator palpebrae* sogar der einzige überhaupt vorhandene Lidmuskel. Er wird durch einige Faserbündel vertreten, die sich aus der die Augenhöhle gegen die Nase hin begrenzenden flachen Muskelmasse (einem förmlichen *Levator bulbi*) ablösen und an den hintern Theil des unteren Augenlides ansetzen (Ecker).

§ 59. Der Nutzen der Augenlider besteht übrigens nicht bloss darin, die Augen gegen mechanische Eingriffe und Verunreinigungen, eventuell auch allzu intensives Licht zu schützen, sondern auch die Oberfläche derselben gleichmässig zu befeuchten und dadurch in einem für den Durchgang der Lichtstrahlen stets gleich geeigneten Zustande zu erhalten. Natürlich sind es zunächst wiederum die Landthiere, die das Bedürfniss einer solchen Befeuchtung haben und des-

halb auch vorzugsweise mit den Drüseneinrichtungen versehen sind, welche die Mittel dazu darbieten. Die Fische entbehren derselben, während sie bei dem Delphin und Narwal vorhanden sind (Trapp und Stannius).

Es sind zweierlei Flüssigkeiten, welche durch die Bewegungen der Lider über die vordere Augenfläche verbreitet werden, die eine von wässriger, die andere von mehr schleimiger oder fettiger Beschaffenheit. Die Vertheilung der ersteren wird durch die gewöhnlichen Augenlider, die der anderen aber durch die Nickhaut besorgt. Demgemäss stehen denn auch die Thränendrüsen, welche die wässrige Flüssigkeit absondern, in Verbindung mit den Lidern, während die zweite, sog. Harder'sche Drüse an das Vorkommen der Nickhaut gebunden ist.

Die Meibom'schen Drüsen, die schon oben erwähnt wurden, haben mehr Beziehungen zu den Lidrändern, als zum Bulbus. Sie dienen zur Einölung derselben und verhüten dadurch (unter gewöhnlichen Verhältnissen) das Ueberströmen der Thränenflüssigkeit. Eine ähnliche Function dürfen wir dem Talgdrüsenpackete vindiciren, das bei der Mehrzahl der Säugethiere, besonders den grösseren, in dem inneren Augenwinkel vor der Nickhaut gelegen ist, und hier in Form eines abgerundeten Zäpfchens (*Caruncula lacrymalis*) nach Aussen vorspringt. Dass es ausschliesslich die Säugethiere sind, die Carunkel und Meibom'sche Drüsen besitzen, mag durch die Grösse der Thränendrüse, die gerade bei den Säugethieren eine besonders ansehnliche ist, bedingt sein. Der Mensch übertrifft darin freilich noch die meisten übrigen Säugethiere, allein die excessive Entwicklung des betreffenden Organes findet durch die mimische Bedeutung desselben eine genügende Erklärung.

Die Lage der Thränendrüse ist in allen Fällen die gleiche. Man findet sie beständig an der oberen Aussenfläche des Bulbus zwischen *Rectus superior* und *externus* (bei dem Delphin innerhalb des oben erwähnten trichterförmigen *M. palpebralis*), so dass das Secret derselben, welches durch eine bald einfache, bald auch und gewöhnlich mehrfache Oeffnung in den Conjunctivalsack ausfliesst, von Oben und Aussen über die ganze Augenfläche nach Unten und Innen sich ausbreitet und schliesslich im innern Augenwinkel sich ansammeln würde, wenn hier nicht in eigenthümlicher Weise für die weitere Fortschaffung gesorgt wäre. In einigen Fällen breitet sich die Drüse von ihrer ursprünglichen Lagerstätte auch weiter aus, wie bei den Hasen, Schlangen und Seeschildkröten, bei denen sie zum Theil sogar die eigentliche Orbita verlässt und bis unter den *Arcus zygomaticus* hinzieht. In solchen Fällen hat die Thränendrüse natürlich eine ungewöhnliche Grösse, bei der Seeschildkröte auch eine ungewöhnliche Form, indem die sonst ganz allgemein vorhandene acinöse Structur hier einer Zusammensetzung aus langen und dicken, vielfach gespaltenen Schläuchen Platz gemacht hat. Die ganze Bildung ist um so auffallender, als die übrigen Schildkröten nach Art der verwandten Reptilien eine nur kleine Thränendrüse besitzen, und überdiess die sonst gewöhnlichen Einrichtungen zur Ableitung der Thränen in die Nasenhöhle fehlen. Bei den grösseren Säugethieren ist die Thränendrüse nicht selten auch (bei Wiederkäuern) in zwei oder drei Theilstücke zerfallen, neben denen bisweilen noch einzelne kleine Gruppen isolirter Acini mit besonderen Ausführungsgängen vorkommen, ganz wie bei dem Menschen.

Nachdem die Thränen nun die Aussenfläche des Bulbus durchfeuchtet haben, werden sie durch die sog. Thränenwege in den untern Theil der Nasenhöhle ab-

geleitet. Der Haupttheil derselben besteht aus einem weiten Canale (dem sog. Thränensacke), welcher von dem inneren Augenwinkel nach abwärts läuft und durch das sog. *Foramen lacrymale* resp. den daran (bei den Säugethieren u. a.) sich anschliessenden knöchernen *Canalis lacrymalis* hindurch in die Nasenhöhle übertritt. Immer ist es der durch die untere Muschel nach Oben begrenzte sog. Luftgang, der die Thränen aufnimmt, so dass die beim Athmen durch letztern hindurchstreichende Luft davon schliesslich noch mit Feuchtigkeit geschwängert wird.

Die Communication mit der Conjunctivalfläche geschieht bei der Mehrzahl der Säugethiere durch die papillenförmig vorspringenden sog. *Puncta lacrymalia.* Sie liegen wie bei dem Menschen (Th. I, S. 98, Fig. 53) dicht vor der Carunkel am inneren Rande sowohl des unteren, wie des oberen Lides und führen in einen kurzen Gang, der in querer Richtung nach der Nasenwurzel hinläuft und schliesslich in das obere Ende des Thränensackes einmündet. Statt dieses Ganges besitzen die Hasen und Kaninchen (wahrscheinlich auch noch andere verwandte Arten) eine offene Längsspalte, deren Ränder von einer kleinen Knorpelleiste garnirt sind. Bei Anwesenheit einer nur kleinen Thränendrüse wird der Leitungsapparat auch wohl vollständig vermisst. So bei dem Elephanten, dessen Thränendrüse (nach Blainville) nicht grösser ist, als eine Erbse, bei den Seehunden und auch den Cetaceen.

Die Thränenpuncte der Vögel haben ganz allgemein die Form von weiten Spalten, die in einiger Entfernung von den Lidrändern dicht über einander im inneren Augenwinkel liegen und am besten gesehen werden, wenn man nach Entfernung der Augen die Innenfläche der Lider in natürlicher Lage betrachtet. Das schon bei den Säugethieren nicht selten etwas vorspringende obere Ende des Thränencanales ist bei den Hühnervögeln zu einem weiten Blindsacke (*Lacunar*) geworden, der zwischen Auge und Oberschnabel unmittelbar unter der Haut gelegen ist. Die Verbindung mit der Nasenhöhle geschieht dicht über den spaltförmigen Choanen.

Aehnlich verhält es sich mit den Reptilien, auch den Schlangen, bei denen der Thränencanal natürlich mit dem sog. Kapselraume im Zusammenhang steht, der den Conjunctivalsack darstellt.

Die Harder'sche Drüse liegt gleichfalls an der oberen Fläche des Bulbus, aber weniger hoch, als die Thränendrüse, und dem inneren Augenwinkel angenähert, so dass der Ausführungsgang derselben unter der Nickhaut, die bekanntlich gleichfalls den inneren Augenwinkel einnimmt, ausmünden kann. Sie hat wegen der trüben Beschaffenheit des Secretes und der Secretzellen ein etwas gelbliches Aussehen und besitzt, wenn sie überhaupt vorhanden ist — den Menschen, Affen, Cetaceen, Schlangen fehlt sie, unter den Arten mit Nickhaut auch den Schildkröten und Haifischen — meist eine ansehnlichere Grösse als die Thränendrüse. Bei den Säugethieren ist sie gewöhnlich dem Stiele des Nickhautknorpels verbunden. Die Acini haben, wenigstens bei den niederen Wirbelthieren, eine längliche Schlauchform und sind zu einer meist zusammenhängenden, bisweilen aber auch gelappten und getheilten Drüsenmasse unter sich verbunden. Beim Maulwurf findet Leydig am Auge unter der Haut eine sehr grosse Talgdrüse, die nach Umfang und Lage einer Harder'schen Drüse entsprechen könnte.

Die sog. Trachomfollikel haben unter den Säugethieren eine weite Verbreitung, obwohl es auch Arten giebt (z. B. die Katzen), denen dieselben abgehen. Sie nehmen besonders die Gegend des vorderen Augenwinkels ein, gehen aber von da, wenn sie, wie namentlich beim Schwein und Hund, in grösseren Mengen auftreten, auch auf die Conjunctiva über, wo sie gelegentlich noch am Cornealrande gefunden werden. Da sie den jüngeren Thieren fehlen, betrachten sie Manche (besonders auch Blumenberg) als pathologische Gebilde.

§ 60. Ob die von mir einst[1]) als muthmassliche Nebenaugen beschriebenen merkwürdigen Organe, die in beträchtlicher Menge, aber sehr verschiedener Grösse am Körper von Chauliodes und Stomias, zwei Fischen aus der Gruppe der Scopelinen, gefunden werden, das Licht wirklich zur Perception zu bringen vermögen und nicht bloss reflectiren, dürfte zur Zeit noch zweifelhaft sein. Der Bau derselben erinnert allerdings in vieler Beziehung sehr auffallend an ein Auge, allein andrerseits muss uns der Umstand, dass manche nahe verwandte Fische (Scopelus) an nahezu denselben Stellen Organe tragen, die allem Anscheine nach ausschliesslich als Reflectionsapparate fungiren, in unserer Auffassung vorsichtig machen.

Die betreffenden Gebilde haben eine cylindrische Gestalt und umschliessen in ihrem vorderen Abschnitte eine birnförmige Linse, die sich mit Hilfe eines conischen Zäpfchens in einen dahinter gelegenen hellen Körper einsenkt. Man könnte diesen letzteren vielleicht als Glaskörper deuten, wenn er nicht aus zahlreichen krystallhellen Kegeln sich zusammensetzte, die sammt und sonders von der Spitze des Linsenzapfens nach der Peripherie hin ausstrahlen. Die Bindegewebsscheide, welche beide Körper einschliesst, ist bis auf das der vorderen Linsenfläche anliegende Segment mit einer Pigmentlage ausgekleidet, deren silberglänzendes Aussehen von einem Tapetum herrührt, ganz derselben Beschaffenheit, wie in den Augen der Plagiostomen. An das hintere Ende der Körper tritt ein dünner Nervenfaden, der aber nicht in das Innere hinein verfolgt werden konnte, auch niemals in Zusammenhang mit dem glaskörperartigen Gebilde gesehen wurde.

B. Wirbellose.

v. Siebold, Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der wirbellosen Thiere. Berlin 1848.
Leydig, Lehrbuch der Histologie. Frankfurt a.M. 1857. S. 247—262.

§ 61. Die Augen der Wirbellosen haben für unsere Zwecke natürlich ein geringeres Interesse, als die der Wirbelthiere. Es genügt deshalb auch, den Bau derselben seinen Hauptzügen nach zu schildern und auf die Einzelheiten nur so weit einzugehen, als das durch besondere Gründe anatomischer oder physiologischer Art motivirt ist.

Dass das Constructionsprincip der Augen nicht überall bei den Wirbellosen dasselbe ist, wie bei den Wirbelthieren, haben wir schon in der anato-

1) Amtlicher Bericht über die Giessener Naturforscherversammlung. 1865. S. 153.

misch-physiologischen Uebersicht, die unserer Darstellung vorausgeschickt ist (§ 3), hervorgehoben. Wir verweisen in dieser Beziehung auf die früheren Erörterungen und fügen nur soviel hinzu, dass sich auch in Bezug auf die anatomische Entwicklung und Lagerung der einzelnen Theile ganz allgemein bei den Wirbellosen, also auch da, wo die Augen derselben ihrer optischen Anlage nach mit denen der Wirbelthiere übereinstimmen, mancherlei mehr oder minder charakteristische Unterschiede herausstellen. Dahin gehört zunächst und vorzugsweise der Umstand, dass die percipirenden Endorgane, die Stäbchen oder die denselben äquivalenten Gebilde, überall bei den Wirbellosen dem einfallenden Lichte zugekehrt sind, also der Innenfläche der Opticusfasern aufsitzen. Eine flächenhafte Ausbreitung dieser Fasern ist selten und meistens nur unvollkommen, so dass nur in wenigen Fällen von einer eigentlichen Retina gesprochen werden kann. Und das um so weniger, als auch die ganglionären Elemente des Opticus, statt flächenhaft sich auszubreiten, gewöhnlich zu einem dicken Knoten vereinigt sind und oftmals sogar in einem grösseren oder geringeren Abstande hinter den Augen gefunden werden. In vielen Fällen fehlt überdiess eine eigentliche Sklera, wie denn auch die Augenmuskeln in der Regel vermisst werden. Ebenso kommt es nirgends zu der Ausbildung einer eigentlichen Choroidea, selbst nicht bei Anwesenheit einer wohl entwickelten Iris. Allerdings ist auch bei den Wirbellosen das Auge pigmentirt, aber die Pigmente inhäriren keiner besonderen Gefässhaut — wie denn Gefässe überhaupt nur bei den Tintenfischen im Inneren des Auges gefunden werden —, sondern sind in mehr oder minder einfacher Weise unter und zwischen den Stäbchen abgelagert, so dass das Licht in der Regel nur zu diesen, nicht aber zu den Opticusfasern gelangen kann — wohl der schlagendste Beweis für die Richtigkeit unserer heutigen Anschauungen von der Function der Retinalstäbchen.

Wenn wir dann weiter noch die geringe Grössenentwicklung der Augen hervorheben, die nur in seltenen Fällen, bei den Tintenfischen und manchen Gliederfüsslern, annäherungsweise den Verhältnissen der Wirbelthiere sich an die Seite setzen lässt, dann dürften im Wesentlichen die Eigenthümlichkeiten der Gesichtswerkzeuge bei den Wirbellosen aufgezählt sein.

Mollusken.

Cuvier, Mémoires pour servir à l'histoire et à l'anatomie des Mollusques. Paris 1817.

Krohn, Beitrag zur nähern Kenntniss des Auges der Cephalopoden. Nova Acta Acad. Leop.-Carol. 1835. T. XVII. S. 337. Ebendas. 1842. T. XIX. S. 41.

Hensen, Ueber das Auge einiger Cephalopoden. Zeitschrift für wissensch. Zoologie. 1865. Bd. XV. S. 155—243.

——, Ueber den Bau des Schneckenauges. Archiv für mikrosc. Anatomie. 1866. Bd. II. S. 399—430.

J. Müller, Mém. sur la sturucture des yeux chez les Mollusques gastéropodes (et quelques Annélides). Annal. des sc. natur. 1831. T. XXII. p. 5—19.

Keferstein, Ueber den feineren Bau der Augen der Lungenschnecken. Nachrichten der Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen. 1864. Nr. 11.

——, Ueber den Bau der Augen von Pecten. Zeitschrift für wissensch. Zool. Bd. XII. S. 133.

Babuchin, Ueber den Bau der Netzhaut einiger Lungenschnecken. Sitzungsberichte der Wiener Akademie. 1865. Juni.

Leuckart, Zoolog. Untersuchungen. 1853. Heft II. S. 27. (Auge der Heteropoden).

§ 62. Die Tintenfische oder Cephalopoden, die von allen Mollusken bekanntlich den complicirtesten Bau und die höchste Entwicklung besitzen, sind zugleich auch unter den wirbellosen Thieren diejenigen, welche sich durch die Grösse und die Bildung ihrer Gesichtswerkzeuge am meisten an die Wirbelthiere anschliessen. Freilich geht diese Aehnlichkeit nicht so weit, dass wir im Stande wären, das Auge der Tintenfische direct auf das der Wirbelthiere zurückzuführen. Beide zeigen vielmehr — auch abgesehen von den schon oben hervorgehobenen Momenten — so zahlreiche und so tief greifende Unterschiede, dass wir daraus wohl mit Recht auf eine vielfach abweichende Entwicklungsweise zurückschliessen dürfen.

Am deutlichsten tritt uns das entgegen, wenn wir zunächst das Auge von Nautilus betrachten, das auf den ersten Blick allerdings kaum weniger von dem der übrigen Tintenfische, als von dem der Wirbelthiere abweicht. Wie schon bei einer früheren Gelegenheit bemerkt wurde (S. 158), repräsentirt dasselbe eine einfache Dunkelkammer ohne dioptrische Medien. Es besteht aus einer etwa 30 Mm. tiefen und fast eben so weiten Grube, die in das verdickte vordere Ende eines zapfenförmig aus den Seitentheilen des Kopfes hervorragenden Fortsatzes eingesenkt ist. Die vordere Oeffnung wird von einem irisartigen flachen Deckel überspannt, der eine unmittelbare Fortsetzung der Augenwand darstellt und in der Mitte von einer kleinen (1 Mm. weiten) Pupillaröffnung durchbohrt ist. Die durch letztere einfallenden Strahlen werden auf den Grund der Augenkammer projicirt und von der hier sich ausbreitenden Stäbchenschicht aufgenommen. Eine dunkle Pigmentlage auf der Innenfläche der Iris und der vorderen Seitenwand der Kammer dient zur Absorption des Lichtes.

Der Zapfen, der die Augenkammer umschliesst, besteht aus einer von Muskelfasern durchsetzten Bindesubstanz. Trotz der Abwesenheit einer specifischen Augenwand haben wir ihn als Bulbus zu betrachten, wie wir denn andrerseits auch die stielförmig verjüngte Basis desselben, die von dem *Nervus opticus* durchzogen wird, der alsbald nach seinem Ursprung aus dem Hirne in ein starkes Ganglion anschwillt und dann in eine Anzahl paralleler Stränge sich auflöst, als eine plumpe Sehnervenscheide in Anspruch nehmen dürfen. In der Nähe der Augenkammer lösen sich die Opticusstränge in zahlreiche Zweige auf, die an den verschiedensten Stellen, höher und tiefer, je nach dem Verlaufe der Zweige, nach Aussen ausstrahlen und in die Bildung der Retina eingehen. In der letzteren lässt sich zu äusserst eine Lage rundlicher Zellen unterscheiden, der dann eine dicht gedrängte Schicht fadenförmiger Cylinderzellen mit den Stäbchen folgt. Die letzteren besitzen sehr ansehnliche Dimensionen (eine Länge bis zu 0,35 Mm.) und sind allem Anscheine nach im Innern je von einem fadenförmigen Ausläufer der unterliegenden Zellen durchzogen. Diese letzteren gehen am Vorderrande der Augenkammer direct in die cylindrischen Pigmentzellen über, erweisen sich demnach ganz unzweideutig als ein Sinnesepithel. Mit gleicher Bestimmtheit sieht man den vorderen Cuticularsaum der Pigmentzellen durch Verdickung und Spaltung in die Stäbchenschicht sich umwandeln (Hensen).

Eine Rinne, die auf der Vorderfläche der Iris in radiärer Richtung bis zur Pupille hinläuft und mit starken Flimmerhaaren ausgekleidet ist, unterhält während des Lebens wahrscheinlicher Weise einen continuirlichen Wasserstrom,

der dazu dienen dürfte, die Pupille rein zu spülen und gegen eindringende Körper zu schützen. An die Wände der Rinne setzen sich einige dilatirende Muskelfasern, während die Iris sonst muskelarm ist und kaum geeignet erscheint, den Querschnitt der Pupille zu verändern.

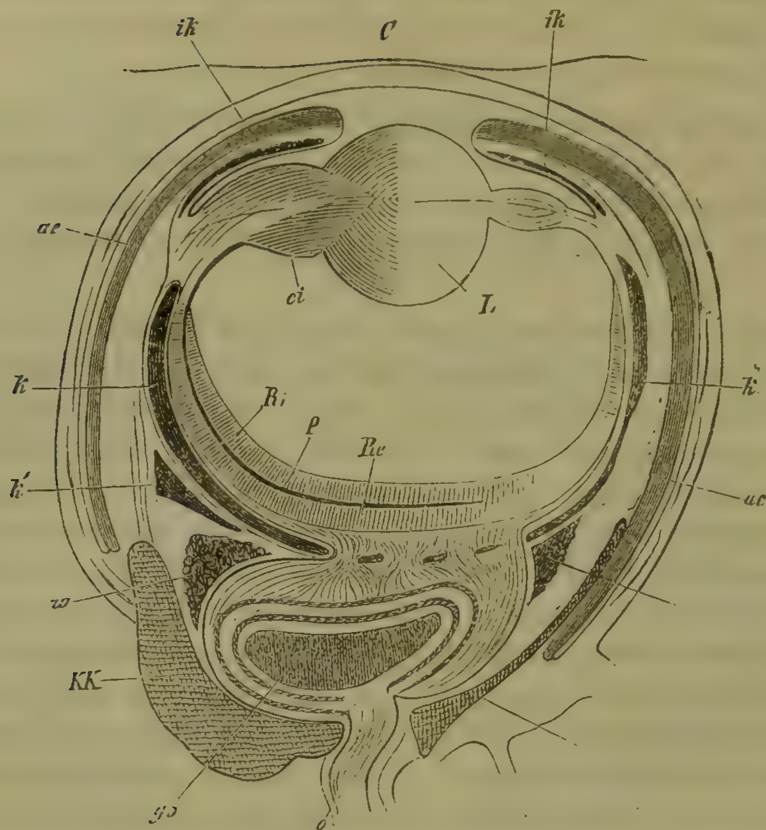
Die hier geschilderten Verhältnisse führen uns nun, wie ich glaube, weit natürlicher und einfacher, als der sonst gewöhnlich angezogene Vergleich mit den Wirbelthieren zur richtigen Beurtheilung des typischen Cephalopodenauges, wie wir es in vollster Entwicklung namentlich bei den decapoden Formen vorfinden.

Der Haupttheil des letzteren besteht, wie beim Nautilus, aus einem zapfenförmigen, meist sogar noch grösseren Bulbus, der einen weiten Innenraum in sich einschliesst und am vorderen Ende durch eine deckelförmige Iris mit centraler Pupille abgeschlossen wird. Allerdings enthält die Augenkammer statt des Seewassers eine kuglige Linse von starkem Brechungsvermögen und einen wässerigen Glaskörper, allein die Anwesenheit dieser dioptrischen Apparate beweist doch nur so viel, dass das Auge der betreffenden Thiere zu einer höheren Ausbildung gekommen ist, als das von Nautilus. Mit dieser Thatsache stimmt auch der anatomische Bau des Bulbus, der in seiner Bindegewebswand nicht bloss einen Skleralknorpel ausgeschieden hat, sondern auch sonst noch eine grössere Differenzirung erkennen lässt. Dass auch die Iris einen dünnen Knorpelring enthält, ist allerdings auffallend, verliert aber das Befremdende, sobald wir berücksichtigen, dass dieses Gebilde bei den Tintenfischen einen integrirenden Theil der äusseren Augenwand darstellt und keineswegs mit dem gleichnamigen Organe der Wirbelthiere in jeder Beziehung parallelisirt werden kann.

Was diesen Bulbus nun aber noch auffallender als die eben hervorgehobenen anatomischen Auszeichnungen von dem entsprechenden Gebilde des Nautilus unterscheidet, ist der Umstand, dass er nicht frei an den Seitentheilen des Kopfes nach Aussen hervorragt, sondern sich in eine eigne zur Aufnahme desselben bestimmte Tasche zurückgezogen hat. Die letztere lässt sich vielleicht am besten noch mit der Conjunctivaltasche des Wirbelthierauges vergleichen, nur dass sie gewöhnlich weiter ist und mehr in die Tiefe greift. In Form eines breiten Ringes umfasst sie nicht bloss den Bulbus, sondern auch die Muskeln, die an der Aussenfläche desselben hinlaufen und von den anliegenden Theilen des Kopfknorpels entspringen, welcher im Umkreis des Augengrundes und des nach Hinten daran sich anschliessenden colossalen *Ganglion opticum* zu einer förmlichen Orbita entwickelt ist.

Bei manchen Arten (Loligopsis, Onychoteuthis u. a., den sog. Oigopsiden) ist diese Augentasche vorn offen, so dass die Iris mit der Linse frei in das Seewasser hervorragt, aber in der Regel verlängern sich die Ränder derselben in eine durchsichtige Platte, die dann vor dem Bulbus hinzieht und die Tasche abschliesst. Da diese Platte nun zu der Iris und Linse dieselbe Lage hat, wie die Cornea der Wirbelthiere, auch überdiess den lamellösen Bau der letzteren besitzt, ist sie häufig (auch von Hensen) als solche gedeutet worden. Die Augentasche wird dann natürlich zu einer vorderen Augenkammer. Es will uns jedoch bedünken, als wenn eine solche Auffassung nichts weniger als natürlich sei. Eine vordere Augenkammer, die um den ganzen Bulbus herumgreift, ist,

Fig. 64.



Horizontalschnitt durch das Auge von Sepia (Schema). *KK* Kopfknorpel. *C* Sog. Cornea. *L* Linse. *ci* Ciliarkörper der Linse. *R* Innere Schicht der Retina. *Re* Aeussere Schicht der Retina. *P* Pigmentschicht der Retina. *o* Sehnerv. *go* Sehnervenganglion. *k* Augapfelknorpel. *ik* Irisknorpel. *w* Weisser Körper (Drüse?). *ae* Argentea externa. (Nach Hensen.)

wie mir scheint, eine viel grössere Paradoxie, als die Abwesenheit der Cornea bei einem Wasserthiere, einem Geschöpfe also, bei dem das betreffende Gebilde nicht mehr als Linse, sondern bloss als ein Schutzorgan in Betracht kommt. Dazu kommt das Verhalten von Nautilus, das bei dieser Auffassung ganz exceptionell bleibt, sowie die Thatsache, dass die sog. vordere Augenkammer nach Aussen geöffnet ist. Und zwar nicht bloss bei den oben schon in dieser Hinsicht angezogenen Oigopsiden, sondern auch den übrigen Zehnfüsslern, bei denen die Oeffnung nur kleiner und oftmals unter einer halbmondförmigen Falte versteckt ist, die den hinteren Rand der durchsichtigen Platte umfasst und durch den Besitz eines starken Kreismuskels sich als ein rudimentäres Augenlid zu erkennen giebt.

Die Aussenfläche des Bulbus hat in ganzer Ausdehnung, soweit sie der Augentasche zugekehrt ist, ein eigenthümliches silberglänzendes Aussehen. Sie bildet die sog. *Argentea*, eine von schillernden Plättchen und Kugeln durchsetzte Haut, die sich durch das aufliegende, die ganze Tasche auskleidende Pflasterepithel und den Besitz von Blutgefässen als eine der *Conjunctiva bulbi* vergleichbare Bindegewebsmembran zu erkennen giebt. An der Iris geht diese Argentea vom Rande aus auf die Innenfläche über, an der sie jedoch nicht bloss von dem Epithel, sondern auch von Muskeln und der Knorpelplatte überlagert ist. Auch am Bulbus unterscheidet man bei der Mehrzahl der Tintenfische ausser der *Argentea*

externa noch eine *A. interna*, die aber sehr viel dünner ist, als die äussere, von der sie durch die Musculatur des Auges getrennt wird. Die letztere besteht aus einer ganzen Anzahl von platten Muskeln, die unter der *Argentea externa* meist der Länge nach hinlaufen und den Bulbus einhüllen. Nur einzelne wenige Fasern lassen sich bis in die Iris hinein verfolgen; der bei weitem grössere Theil aber inserirt sich an der Knorpelplatte des Bulbus. Es gilt das namentlich von dem vorderen Längsmuskel, der eine besonders kräftige Entwicklung hat und an der ringförmig verdickten Aussenzone des Skleralknorpels seine Insertion findet. Trotz der complicirten Anordnung des Muskelapparates ist übrigens eine ausgiebige Verschiebung des Bulbus sehr unwahrscheinlich. Hensen vermuthet deshalb auch für einzelne dieser Muskeln eine andere Function und ist namentlich geneigt, dem eben erwähnten vorderen Längsmuskel eine Einwirkung auf die Stellung der mit dem äquatorialen Knorpelringe durch Hülfe des *Corpus ciliare* fest verbundenen Linse zuzuschreiben. Wie er vermuthet, wird sich die dünne Knorpelhaut hinter dem Ring unter dem Zuge des Muskels in eine Falte legen und dabei die Linse der Art horizontal gegen die Retina verschieben, dass (bei gleichzeitiger Verschiebung der durchsichtigen Platte) die Achsenstrahlen derselben auf den sehr excentrisch gelegenen gelben Fleck fallen.

Die Bewegungen der Iris werden durch Kreis- und Radiärmuskeln vollzogen, die sich an die Knorpelplatte derselben ansetzen. Die ersteren liegen auf der äusseren Fläche derselben, wo sie am vorderen und hinteren Rande zu einem kräftigen Sphincter entwickelt sind, während die anderen von der Kante des skleralen Aequatorialknorpels abgehen und an die Innenfläche des Irisknorpels sich ansetzen. Neben und zwischen diesen Dilatatoren entspringen noch andere radiäre Muskeln, die in schräger Richtung nach Vorn und Innen verlaufen und mit dem Strahlenkörper sich verbinden. Sie werden vermuthlich dazu dienen, einen Druck auf den Glaskörper auszuüben, der dann eine Vorwärtsbewegung der Linse zur Folge hat. Ein Ringmuskel, der diese Radiärfasern umgürtet (und mit ihnen zusammen den sog. Langer'schen Muskel bildet), mag durch gleichzeitige Zusammenziehung Druck und Bewegung zu verstärken im Stande sein, so dass die Tintenfische mit Linse ein ziemlich ausgiebiges Accommodationsvermögen zu besitzen scheinen.

Dass sich diese Linse sonderbarer Weise aus zwei durch Bindesubstanz mit einander verbundenen ungleich grossen Halbkugeln zusammensetzt, ist schon durch Swammerdam's Untersuchungen bekannt geworden. Beide bestehen aus zahlreichen dünnen und homogenen Lamellen, die in dichter, um den gemeinschaftlichen Mittelpunct concentrisch geordneter Schichtung auf einander liegen. Eine Linsenkapsel fehlt. Statt des Kapselepithels ist es der dicke Epithelialbelag des Strahlenkörpers, der die Linse wachsen lässt und damit in einer höchst merkwürdigen und eigenthümlichen Verbindung steht, wie das zuerst von Huschke und dann genauer von Hensen uns gelehrt ist.

Der Strahlenkörper, der dieses sog. *Corpus epitheliale* trägt, ist eine von Gefässen durchsetzte bindegewebige Platte, die mit den Radiärfasern des Langerschen Muskels von dem Vorderrande des Aequatorialknorpels abgeht und bis in die Linsenspalte hinein sich verfolgen lässt. Auf dem Wege dahin erhebt sie sich in zahlreiche dicht stehende Falten, die zum Theil selbst wieder mit

Falten sich besetzen und somit eine beträchtliche Oberfläche darbieten. Sämmtliche Falten sind von Gefässen durchzogen, die an der Linse alle in ein plexusartiges Ringgefäss einmünden. Die Epithelzellen nun, welche diese Falten bedecken und das *Corpus epitheliale* bilden, sind ihrer Mehrzahl nach von birnförmiger Gestalt und nach Aussen in einen mehr oder minder langen, bisweilen linienlangen, fadenförmigen Fortsatz ausgezogen. Sämmtliche Ausläufer streben der Linse zu und stehen zum grossen Theil mit den Rändern der Linsenlamellen in continuirlichem Zusammenhange. Die letzteren sind überhaupt nichts Anderes, als ein Verschmelzungsproduct dieser Fasern. Da das in Form eines dicken Polsters entwickelte *Corpus epitheliale* beiden Flächen des Strahlenkörpers aufliegt, wird auch die Zweitheilung der Linse begreiflich. Selbst die ungleiche Grösse dieser Linsenhälften findet ihre Erklärung, denn die vordere Partie des Epithelialkörpers, die der kleineren Linsenhälfte verbunden ist, steht ihrerseits gleichfalls an Grösse hinter der anderen zurück.

Der Opticus bildet in der Tiefe der Orbita ein gewaltiges Ganglion, dessen Bau bis jetzt aber erst unvollkommen erkannt ist. Die Mitte desselben wird von einer kernreichen Pulpa erfüllt (Ganglienkugeln?), in die man die Nervenfasern hinein verfolgen kann. Die daraus wieder hervorkommenden Fasern durchsetzen eine dreifache peripherische Lage von Körnern, Molecularmasse und wiederum Körnern, bevor sie mit ihren Bündeln durch die Löcher des siebförmig durchbohrten Skleralknorpels hindurchtreten und in die Retina ausstrahlen. Das zarte Neurilemm, das den Opticus und das *Ganglion opticum* überzieht, tritt durch diese Löcher gleichfalls in den Innenraum des Bulbus und entwickelt sich hier zu einem dünnen Bindegewebsüberzuge des Skleralknorpels, der von Hensen der Retina zugerechnet wird, offenbar aber bloss das innere weiche Blatt der Sklera darstellt. Aber auch mit Ausschluss dieser Haut ist die Retina unserer Thiere complicirter gebaut, als die vom Nautilus. Nicht bloss dass sie den Augengrund bis in die Nähe des Strahlenkörpers in Form eines selbstständigen, dicken und gefässreichen Bechers bekleidet, es entwickelt sich in ihr auch das stützende Bindegewebe, wie in der Retina der Wirbelthiere, zu einer ansehnlichen reticulären Schicht, die zwischen der Faserlage und das Sinnesepithel sich einschiebt, und die in radiärer Richtung an das letztere hinantretenden Nervenfibrillen aufnimmt. Die Kerne der Epithelschicht sind, wie in der sog. Körnerschicht der Wirbelthiere, denen dieselbe entspricht, weit deutlicher, als die umgebenden Zellen, doch erkennt man dieselben in dem schon oben erwähnten »gelben Flecke« deutlich als lang gestreckte Cylinderzellen, während sie im Grunde des Auges eine mehr rundliche Form zu besitzen scheinen. Die Stäbchenschicht, die von den eben erwähnten Zellen durch eine siebförmig durchbrochene dünne Hüllhaut getrennt ist, zeichnet sich durch ihre colossale Dicke und leichte Isolirbarkeit aus. Sie wird von cylindrischen oder prismatischen Pallisaden gebildet, die im Centrum gelegentlich bis zu 0,26 Mm. lang und 0,003 Mm. breit werden und im Innern je von einem Canale durchsetzt sind, der mehr oder minder stark, besonders am unteren Ende, bisweilen auch am oberen, mit Pigmentkörnchen gefüllt ist. Dem unteren Ende der Stäbchen haftet ausserdem noch je ein kernartiges Gebilde an (Hensen's Stäbchenkern), das der Hüllhaut aufsitzt und in seiner Umgebung gleichfalls eine reiche Entwicklung körnigen Pigmentes erkennen lässt. Ausser dem Pigmente enthält der Achsencanal der Stäbchen auch

noch ein deutliches Fädchen, wie wir es schon beim Nautilus gefunden haben. Es ist nach Hensen aus mehreren Fibrillen zusammengesetzt, die theils von den Zellen der Epithelschicht abgehen, theils auch eine directe Ausstrahlung der Nervenfibrillen darstellen. 'Da die Epithelzellen gleichfalls mit Nervenfasern im Zusammenhang stehen, so erhält jedes Stäbchen also mindestens zwei verschiedenartige Nervenenden, ein Verhalten, das, wenn es sich bestätigen sollte, als ein wichtiges Factum zu registriren sein dürfte. Hensen bringt dasselbe mit dem Mechanismus der Farbenperception in Zusammenhang und versucht den Nachweis, dass es durchaus den Voraussetzungen der Young-Helmholtz'schen Hypothese entspreche. Auf der vorderen Fläche der Stäbchenschicht zieht noch eine Limitans hin, die am Rande der Retina auf einem hier gelegenen Pigmentwulst aufhört. Der letztere ist wahrscheinlicher Weise als Bildungsstätte derselben anzusehen, da Nichts dafür spricht, dass sich die Stäbchen selbst an der Ausscheidung betheiligen. Die *Pars ciliaris retinae* ist nur ein pigmentirtes Pflasterepithel mit einer ziemlich homogenen Grundmembran.

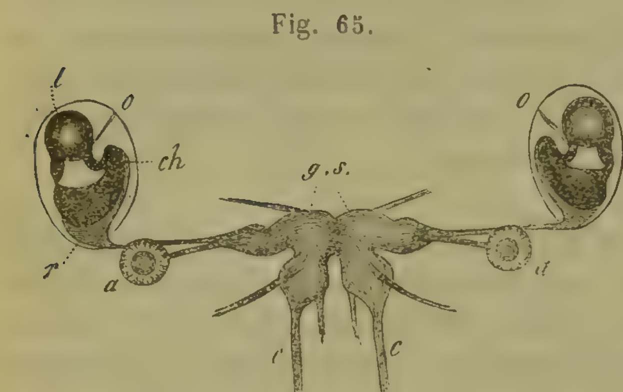
§ 63. Die Augen der übrigen Mollusken stehen, wie das aus biologischen Gründen von vorn herein zu erwarten war, an Grösse und Entwicklung beträchtlich hinter denen der Tintenfische zurück. Bei der Mehrzahl der Lamellibranchiaten fehlen sie im ausgebildeten Zustande sogar gänzlich. Auch unter den Schnecken giebt es einige blinde Arten, aber die meisten dieser Thiere besitzen doch zwei Augen, die, wie bei dem Tintenfische, am Kopfe liegen und aus den oberen Schlundganglien versorgt werden. Freilich zeigt die Bildung dieser Organe sehr verschiedene Zustände. Wo sie am wenigsten entwickelt sind, bei den nächtlichen Flossenfüsslern, sollen sie aus einem Pigmentfleck bestehen, an dem sich nicht einmal immer ein linsenartiger Körper auffinden lässt. In anderen Fällen, bei den Nacktkiemern, werden die Augen von einer ovalen oder birnförmigen glashellen Kapsel gebildet, die eine unmittelbare Fortsetzung der Sehnervenscheide ist, also die Sclerotica der höheren Thiere repräsentirt und eine kuglige Linse von glasheller Beschaffenheit und so beträchtlicher Grösse in sich einschliesst, dass fast der ganze Augenraum dadurch gefüllt ist. Zwischen Linse und Kapsel zieht ein dunkles, schwarzes oder rothbraunes, Pigment hin, das nur den vordern Pol des Auges frei lässt. Der freie Fleck bildet die Pupille. Ueber den Bau der Nervenausbreitung resp. Retina ist Nichts bekannt; man weiss nur, dass der Opticus an das hintere Ende der Kapsel hinantritt und damit sich verbindet. Dabei ist das Auge klein (meist weit unter 1 Mm.) und fast überall von Muskeln überlagert, so dass das Sehvermögen für gewöhnlich nur auf die Perceptionen von Hell und Dunkel beschränkt ist. In dem Larvenzustande liegen die Augen frei und dann wird auch ihre Function natürlich eine umfassendere sein.

Bei den übrigen Schnecken ist das Auge grösser und auch im entwickelten Zustande immer nur von der Oberhaut bedeckt. Letztere hat, soweit sie vor der Cornea hinzieht, eine durchsichtige Beschaffenheit und ist bisweilen — wohl mehr zum Schutze, als zu optischen Zwecken — zu einer sog. *Pellicula* verdickt, die dann wie eine Kappe auf dem Puppillarsegmente des Bulbus aufsitzt. In der Regel liegt der letztere übrigens in einem sog. Augenstiele (Ommatophor), der wie ein Seitenzweig aus dem Tentakel hervorkommt oder in der Nähe desselben von

dem Kopfe abgeht. Natürlich, dass unter solchen Umständen auch die Länge des Opticus eine viel ansehnlichere ist, als bei den Nacktkiemern und Pteropoden, deren Augen fast direct auf den Hirnganglien aufsitzen.

In der Gruppe der räuberischen Heteropoden erreicht das Schneckenauge seine grösste Entwicklung. Durch seine Grösse, die bei manchen Arten bis zu 6 und 7 Mm. steigt, erinnert es fast an die Verhältnisse der Tintenfische. Auch darin schliesst es sich an die Gesichtsorgane dieser Thiere an, dass der Bulbus, statt direct in das umgebende Gewebe sich einzulagern, zapfenförmig in einen eignen Hohlraum hineinragt und durch eine Anzahl von Muskeln an der Wand des letzteren befestigt ist. Bei Pterotrachea zählte ich zwei Retractoren und zwei Protractoren, die das Auge zu merklichen Verschiebungen befähigen. Mit dieser Beweglichkeit hängt es vermuthlich auch zusammen, dass das Auge der Heteropoden die sonst gewöhnlich einfach sphäroidale Form mit einer sehr sonderbaren Gestaltung vertauscht hat, die, trotz mancherlei Abweichungen bei den einzelnen Arten, im Ganzen auffallend an die Bildung des Eulenauges erinnert. Wie an letzterem unterscheidet man an dem Bulbus der Heteropoden einen vorderen Cornealtheil, sodann ein Verbindungsstück und schliesslich einen Augengrund, welcher der Medianlinie zugekrümmt ist, so dass — wie gleichfalls schon bei den Eulen (Fig. 15) — die mediane und laterale Augenhälfte sehr unsymmetrisch gestaltet erscheint. Da der Bulbus gleichzeitig in seiner hinteren Hälfte stark abgeplattet ist, hat der Augengrund von Hinten gesehen ein schuh- oder kahnförmiges Aussehen.

Fig. 65.



Obere Schlundganglien und Sinnesorgane von Pterotrachea. *gs* Obere Schlundganglien (Gehirn). *c* Commissuren. *o* Augenkapsel. *l* Linse. *ch* Pigmentschicht (Choroidea). *r* Ganglion-Ausbreitung des Sehnerven. *a* Hörorgan.

Trotz seiner beträchtlicheren Grösse erhebt sich übrigens das Auge der höhern Schnecken im Ganzen nur wenig über den oben bei den Nacktschnecken geschilderten Typus. Namentlich ist die Beschaffenheit der Augenwand und ihres Inhaltes im Wesentlichen die gleiche. Nur insofern besteht ein Unterschied, als die Retina zu einer bessern Entwicklung gelangt und auch die Linse nicht mehr so vollständig den Innenraum des Bulbus ausfüllt. Nicht bloss, dass hinter derselben sehr allgemein ein Raum bleibt, der mit einem gallertartigen Glaskörper angefüllt ist und bei den Heteropoden sogar zu einer ganz erklecklichen Grösse heranwächst, es wird gelegentlich, besonders wiederum bei den Heteropoden, auch vor derselben ein Spaltraum gefunden, der einen ziemlich festen und deutlich aus Zellen zusammengesetzten durchsichtigen Körper von uhrglasartiger Gestalt in sich einschliesst.

Fig. 66.



Auge von Helix. *a* Linse.

Der Schnerv bildet da, wo er dem Augengrunde sich verbindet, eine mehr oder minder ansehnliche ganglionäre Verdickung und strahlt mit seinen Fasern

dann in die Aussenschicht der Retina über. Auf diese Faserlage folgt ohne Weiteres eine ansehnliche Epithelschicht, deren Zellen eine langgestreckte, im Einzelnen aber vielfach wechselnde Gestalt haben und am centralen Ende mit dunklen Pigmentkörnern imprägnirt sind. Diese Pigmentmassen bilden zum grossen Theil die sog. Choroidea, an die sich nach Innen dann wieder eine verschieden dicke helle Stäbchenlage anschliesst. Bei Helix misst dieselbe nur den vierten Theil der Gesammtdicke, während sie bei Pteroceras mehr als die Hälfte (0,097 Mm.) in Anspruch nimmt. Sie besteht aus dickwandigen cylindrischen Röhren von ansehnlichem Querschnitte (0,01 Mm. und darüber), die im frischen Zustande eine fast gallertartige Beschaffenheit haben und bei den Lungenschnecken gruppenweise in Abtheilungen zerfallen, welche durch eine entsprechende Gruppirung der Epithelzellen vorgebildet sind. Der centrale Canal der Stäbchen enthält auch hier wieder einen Achsenfaden, dem Hensen dieselbe Zusammensetzung vindicirt, die wir bei den Cephalopoden oben beschrieben haben. Bei Limax soll sich der Zusammenhang mit Nervenfibrillen sogar verhältnissmässig leicht demonstriren lassen.

Nach der Peripherie zu werden die Stäbchen auf einmal niedriger und verschwinden dann ganz bis auf einen hellen structurlosen Saum, der über die Pigmentzellen der *Pars ciliaris* hinzieht. Im Umkreis der Pupillaröffnung hat das Pigment bei Strombus lebhafte Farben, gelbe, rothe und grüne, oft mehrere Farben in einzelnen Ringen hinter einander, ohne dass es aber zu der Bildung einer eignen, histologisch differenzirten Iris käme. Bei den Heteropoden ist die Stäbchenschicht mit ihren Zellen nicht becherförmig, wie sonst, sondern, der Gestalt des Augengrundes entsprechend, in Form einer queren Leiste entwickelt, die sich scharf gegen die Pigmenthaut absetzt.

Ueber die bekanntlich dem Mantelrande in grösserer Anzahl aufsitzenden Augen der Blattkiemer liegen bis jetzt erst wenige Beobachtungen vor. Obwohl an demselben Thiere (Pecten) angestellt, widersprechen sich dieselben überdiess in einem solchen Grade, dass ein endgültiges Urtheil über diese Gebilde einstweilen unmöglich ist. Während der Eine der Beobachter (Keferstein) bei diesen Augen im Wesentlichen den Bau der Schneckenaugen wiederfindet, berichtet der Andere (Hensen) darüber eine Reihe der ungewöhnlichsten Verhältnisse. Nach den Angaben des Letzteren soll der Innenraum des Auges von einem Septum durchzogen und deutlich in zwei Räume getrennt sein, von denen der vordere eine biconvexe Linse enthält, die durch ihre weiche Beschaffenheit und ihren Zellenbau an den Körper erinnert, der in der vorderen Augenkammer der Heteropoden gefunden wird, während der hintere von einer mächtigen Retina ausgefüllt wird. Die Stäbchen der letzteren sind auffallender Weise, wie bei den Wirbelthieren, nach Hinten gerichtet, so dass die langgestreckten Basalzellen derselben mit dem Septum sich verbinden können. Die abgeplatteten Pigmentzellen, welche der Innenfläche der Augenwand aufliegen, tragen, soweit die Stäbchen reichen, ein Tapetum, dessen Silberglanz von feinen stäbchenartigen Molekülen herrührt. Zu alledem kommt dann schliesslich noch der Umstand, dass der Bulbus, wie auch schon früher gesehen ist, von zwei Nerven versorgt wird, von denen der eine, wie gewöhnlich, von Hinten die Augenkapsel durchbohrt, der andere aber etwas seitlich an dieselbe tritt, um sich hier in zahlreiche kleine

Bündel aufzulösen, die den Augengrund becherförmig umfassen und dann seitlich in kleinen Strängen rings ins Auge einstrahlen.

§ 64. Ueber die Entwicklungsweise des Molluskenauges giebt uns schon das merkwürdige Verhalten des Nautilus einigen Aufschluss. Abweichend von den Gesichtswerkzeugen der Wirbelthiere nimmt es offenbar direct durch Einstülpung von Aussen, ganz nach Analogie der Gehör- und Geruchswerkzeuge der höhern Thiere seinen Ursprung. Das Sinnesepithel entsteht direct aus dem Hautblatt, während die Stäbchen nach Art einer Cuticula von demselben ausgeschieden werden. Semper soll (nach Hensen) die Bildung des Auges durch Einstülpung des Körperepithels bei einer Landpulmonate der Philippinen direct beobachtet haben. Bei Ampullaria beschreibt derselbe das Embryonalauge als eine dicht unter der Haut gelegene Epithelblase, die anfangs eine völlig klare Flüssigkeit in sich einschliesst. Dann tritt etwas diffuses Pigment an der Innenwand der Blase auf. Während dieses sich mehrt, verdichtet sich allmählich die in der Blase enthaltene Flüssigkeit, und so bildet sich die Linse als Abscheidungsproduct der Zellen der Blasenwand. Dass dieselbe später durch Auflagerung wächst, kann bei der nicht selten deutlich hervortretenden Schichtung nicht bezweifelt werden. (Bei den Cephalopoden soll die Linse nach Kölliker eine von der Augenblase unabhängige Bildung sein und nach Art der Wirbelthierlinse selbstständig aus der embryonalen Hautschicht hervorgehen.)

Arthropoden.

Joh. Müller, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. S. 337.

Will, Beiträge zur Anatomie der zusammengesetzten Augen mit facettirter Hornhaut. Erlangen 1845.

Leydig, Zum feineren Bau der Arthropoden. Archiv für Anatomie und Physiologie. 1855. S. 406—444.

——, Das Auge der Gliederthiere. Tübingen 1864.

M. Schultze, Untersuchungen über die zusammengesetzten Augen der Krebse und Insekten. Bonn 1868.

Claparède, Zur Morphologie der zusammengesetzten Augen bei den Arthropoden. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1860. Bd. X. S. 191—214.

Landois und Thelen, Zur Entwicklungsgeschichte der facettirten Augen von Tenebrio molitor. Zeitschr. für wissensch. Zool. 1867. Bd. XVII. S. 34.

——, Die Raupenaugen. Ebendas. Bd. XVI. 1866. S. 27.

Leuckart, Ueber die Gesichtswerkzeuge der Copepoden. Archiv für Naturgesch. 1859. Th. I. S. 247—262.

§ 65. Man unterscheidet bei den Arthropoden gewöhnlich einfache und zusammengesetzte Augen. Die ersteren sind Augen mit dioptrisch collectiven Medien, Augen also, die sich (trotz mancherlei Eigenthümlichkeiten im Wesentlichen an die Gesichtswerkzeuge der höheren Thiere anschliessen, während die anderen sog. musivische Augen (vgl. § 4) darstellen, bei denen die Sonderung der Lichtstrahlen nicht durch eine für die ganze Retina gemeinschaftliche Sammellinse, sondern durch Pigmentscheiden um die einzelnen Nervenstäbe und anderweitige daran sich anschliessende Einrichtungen vermittelt wird. In Wirk-

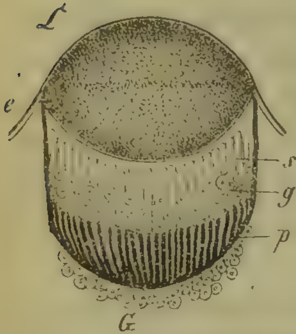
lichkeit ist übrigens der Bau der Arthropodenaugen weit mannichfaltiger, als man nach dieser Eintheilung vermuthen sollte. Neben den entschieden einfachen und zusammengesetzten Augen giebt es auch solche, welche die Charaktere weder der einen noch der anderen vollständig besitzen. Die einfachen Augen verlieren gelegentlich ihre Linse, die zusammengesetzten ihre Pigmentscheiden — sie verlieren damit beide zugleich die Fähigkeit scharf gezeichnete Bilder zu sehen, und werden dann in ihrem anatomischen Verhalten so ähnlich, dass es schwer, unter Umständen sogar unmöglich ist, sie von einander zu unterscheiden. Da auch die typischen Formen der einfachen und zusammengesetzten Augen bei den Arthropoden mancherlei Eigenthümlichkeiten mit einander gemein haben, liegt die Annahme nahe, dass beide auf dem Wege einer divergirenden Weiterentwicklung aus einer indifferenten Urform hervorgegangen seien. Es heisst indessen den Werth morphologischer Beziehungen überschätzen, wenn man aus den hier hervorgehobenen Thatsachen in neuerer Zeit mehrfach den Schluss gezogen hat, dass beiderlei Augen nun auch in Bezug auf den optischen Vorgang des Sehens einander gleich ständen und »die Müller'sche Theorie vom musivischen Sehen als unhaltbar aufzugeben sei« (Leydig).

Den zusammengesetzten Augen müssen wir nach ihrer Leistungsfähigkeit unter den Gesichtswerkzeugen der Arthropoden den Vorrang einräumen. Und das nicht bloss aus anatomischen Gründen, sondern auch deshalb, weil sie in ihrer vollendeten Form gerade bei denjenigen Thieren vorkommen, die durch den Umfang und die Schnelligkeit ihrer Bewegungen vor den übrigen am meisten ausgezeichnet sind. Wir finden sie namentlich bei den sechsfüssigen Insekten — ausgenommen sind fast nur gewisse kleine, besonders parasitische Formen und die Larvenzustände der Arten mit vollkommener Metamorphose, die bekanntlich eine beschränkte Bewegung üben, auch vielfach im Dunkeln leben — und den höheren Krebsen, den sog. Podophthalmen, sowie bei Apus und Limulus. Sie haben immer eine verhältnissmässig ansehnliche Grösse und bilden ein Paar halbkugelförmiger Hervorragungen, die in die Seitentheile des Kopfes eingelagert sind oder (Podophthalmen) einem besonderen beweglichen Augenstiele aufsitzen. Die einfachen Augen sind beträchtlich kleiner, oft bloss punctförmig und in wechselnder, meist aber grösserer Zahl vorhanden. Sie stehen bald einzeln, bald gruppenweise vereinigt, gewöhnlich gleichfalls am Kopfe oder, wo ein solcher als eigener Abschnitt fehlt (Arachniden), am vorderen Körperrande. Bisweilen spielen die einfachen Augen auch die Rolle von Nebenaugen. So namentlich bei den Heuschrecken, Bienen, Fliegen und Hexapoden, bei denen sie (als sog. Stemmata) in dreifacher Anzahl zwischen den zusammengesetzten Hauptaugen stehen. Auch die niederen Krebse besitzen häufig neben zwei Seitenaugen noch ein mehr oder minder reducirtes sog. Cyclopenauge auf der Mitte des Scheitels. Das Decapodengenus Euphausia trägt sogar eine Reihe von Nebenaugen zwischen den Beinen.

Dass die Arthropoden nur in den seltensten Fällen völlig augenlos sind, ist schon früher (S. 153) bemerkt worden. In der Regel entbehren aber auch diese wenigen Arten der Augen bloss auf bestimmten Entwicklungsstufen, entweder im ausgebildeten Zustande, wie die Lernäaden, die diesen als stationäre Parasiten verleben, oder, wie die Mehrzahl der Fliegen und Hymenopteren, als Larven mit äusserst beschränkter Bewegung.

§ 66. Die einfachen Augen untersucht man am besten zunächst bei den Spinnen, bei denen sie (Scorpio, Mygale) gelegentlich zu einer nicht unbeträchtlichen Grösse heranwachsen. Das Erste, was die Aufmerksamkeit des Beobachters auf sie hinlenkt, ist eine kleine helle und glänzende Hervorragung des chitinigen Hautskelets, die sich scharf gegen die Umgebung absetzt und die Gestalt eines Kugelsegmentes hat. Bei näherer Untersuchung erkennt man darin die Aussenfläche eines linsenartigen Körpers, der in die äusseren Chitinhüllen eingeschaltet ist oder vielmehr durch Verdickung aus ihnen sich hervorgebildet hat. Derselbe theilt in chemischer so gut, wie auch in histologischer Beziehung die Eigenschaften des Arthropodenskelets, die Unlöslichkeit in kaustischem Kali, die lamellöse Zusammensetzung, ja selbst den Besitz von zarten Porencanälen. Trotzdem repräsentirt er, wie schon die äussere Form vermuthen lässt, in Wirklichkeit die Linse des Auges, die bei den Arthropoden also zeitlebens einen integrirenden Theil der äusseren Körperhüllen darstellt. Eine Cornea ist unter solchen Umständen natürlich nicht vorhanden. Auch eine Sklera fehlt, wenn man nicht etwa die zarte Bindehaut, welche die hinter der Linse gelegenen Weichtheile gegen die benachbarten Organe absetzt und vom Neurilemm des Sehnerven ausgeht, aber keinerlei specifische Organisation besitzt, als solche in Anspruch nehmen will.

Fig. 67.



Auge einer Spinne. *L* Linse, von der Chitinschicht (*e*) des Integumentes gebildet. *s* Krystallstäbchen. *g* Zellen. *p* Pigment. (Nach Leydig.)

Die Hauptmasse dieser Weichtheile wird von einem Gewebe gebildet, das J. Müller als Glaskörper bezeichnete und aus radiär gestellten länglichen Zellen bestehen liess. Wie von Leydig später nachgewiesen ist, ergeben sich diese scheinbaren Zellen als kolbige Gallertgebilde, die den sog. Krystallkegeln des zusammengesetzten Arthropodenauges entsprechen. Sie stehen in einfacher Lage neben einander und reichen mit ihrem vorderen Ende bis an die Linse, während das hintere Ende in eine peripherische Pigmentmasse eintaucht, die dem Opticus aufsitzt und allmählich sich verdünnend an der oben erwähnten skleraartigen Bindegewebshülle bis zum Rande der Linse hinläuft, ja selbst irisartig über denselben noch eine kurze Strecke weit sich fortsetzt. Die Pigmentmasse selbst wird nun aber noch, so weit sie dem Opticus anliegt, senkrecht von durchsichtigen Röhrchen durchzogen, die öfters eine feine Querstreifung erkennen lassen und offenbar, wie das in den zusammengesetzten Augen noch deutlicher hervortritt, den Retinastäbchen der übrigen Thiere entsprechen. Am vorderen Ende stehen die (zuerst von Brants gesehenen) Röhrchen je mit einem der oben erwähnten Gallertkolben in Zusammenhang, so dass beiderlei Gebilde einen gestielten birnförmigen Körper bilden. An der Verbindungsstelle erkennt man eine Anzahl zellenartiger Anschwellungen mit scharf gezeichneten Kernen. Der Achsencanal der Röhrchen enthält vermuthlicher Weise, wie in den zusammengesetzten Augen, die letzten Ausstrahlungen der Opticusfasern.

Das Pigment besteht gewöhnlich aus dunkelvioletten oder schwarzen Körnchen, deren Anordnung durch die stäbchenartigen Einlagerungen mehr oder minder streifenartig wird. Dazu gesellen sich in vielen Fällen noch irisirende Flitter und Kugeln, die ein förmliches Tapetum bilden und den Augen oftmals

einen prächtigen Goldglanz geben. Ausser den Pigmentmassen enthält die Choroidea auch deutliche, wenngleich nur schmale, quergestreifte Muskelfasern, die zu einem Plexus mit vorwaltend ringförmigem Verlaufe zusammentreten und in dem irisartigen Saume bisweilen einen förmlichen Sphincter bilden. Wie man an lebenden Spinnen direct beobachten kann, wird durch die Thätigkeit dieser Muskeln der Querschnitt der weichen Augentheile verkleinert, also eine Bewegung ausgeführt, welche die Entfernung der percipirenden Endorgane von der Linse vergrössert und das Auge für die Nähe einstellt.

Am hinteren Augensegmente entwickelt sich der Opticus durch Aufnahme körniger und zelliger Elemente zu einem förmlichen Ganglion.

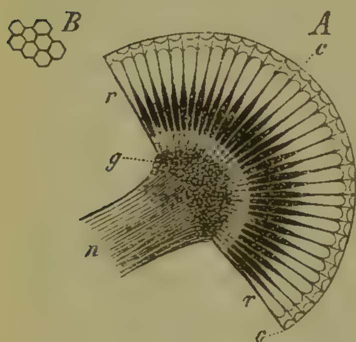
Dass die Endorgane des Opticus nicht bloss aus Stäbchen, wie bei den übrigen Thieren, sondern aus Stäbchen und Gallertkolben (Krystallkegeln) bestehen, ist eine Eigenthümlichkeit der Arthropoden, auf die wir bei der Darstellung der zusammengesetzten Augen nochmals zurückkommen werden. Einstweilen genügt hier die Bemerkung, dass die Function der Gallertkolben aller Wahrscheinlichkeit nach darin besteht, die Lichtstrahlen den eigentlichen Perceptionsorganen zuzuleiten, nicht aber selbst zu percipiren.

Wie das Spinnenauge, so verhalten sich im Wesentlichen auch die Nebenaugen der ausgebildeten Insekten, nur dass bei der geringern Grösse die Einzelheiten weniger scharf und deutlich hervortreten. Gleichzeitig verringert sich die schon bei den Spinnen nicht eben beträchtliche Menge der Endorgane, wie das bei der relativ sehr ansehnlichen Grösse der Endkolben (die durchschnittlich etwa 0,03—0,04 Mm. in Länge und 0,02 Mm. in Breite messen) auch nicht anders sein kann. In der Regel geht die Menge derselben nur wenig über ein Dutzend hinaus. Die in mehrfacher Anzahl ringförmig neben einander stehenden und verschieden gerichteten Raupenaugen enthalten deren sogar nur je ein einziges (Leydig, Landois), so dass sie unseren dermaligen Kenntnissen zufolge nicht einzeln, sondern immer nur durch Zusammenwirken eine grössere Menge von Lichtpuncten (d. h. ein Bild) zur Anschauung zu bringen vermögen. Eine weitere Eigenthümlichkeit dieser Augen besteht darin, dass die sonst einfache Linse aus einer uhrglasartigen dünnen Hornhaut besteht, die continuirlich in die anliegende Chitinhülle übergeht und an ihrer concaven Innenfläche eine eigene helle Linse in sich aufnimmt. Die dreilappige Form der Linse entspricht der gleichfalls dreilappigen Gestalt des Krystallkörpers. Dieselbe Zusammensetzung zeigt nach meinen Beobachtungen die sog. Linse in den zwei Seitenaugen von Corycaeus (u. a. Copepoden), die gleichfalls nur einen einzigen Krystallkörper besitzen, obwohl sie von so colossaler Grösse sind, wie (relativ) vielleicht bei keinem anderen Thiere. Durchsetzen dieselben doch bei Corycaeus fast die ganze Länge des Cephalothorax, nahezu also die Hälfte des gesammten Leibes! Uebrigens erscheint dieser Glaskörper nicht als eine einfache homogene Masse, sondern zusammengesetzt aus mehreren hinter einander liegenden Abschnitten, die sich durch ihr optisches Verhalten scharf gegen einander absetzen. Zu äusserst liegt ein grösserer kegelförmiger Körper von schwachem Brechungsvermögen und weicher Beschaffenheit (Glaskörper), der unter dem Zuge der seiner Aussenfläche aufliegenden Muskelfasern um ein Merkliches sich zu verkürzen vermag. Sodann folgt ein kugliges Gebilde, das man nach Form und Brechungsvermögen für eine

zweite Linse halten könnte, und darauf dann schliesslich ein birnförmiger Kolben, der den gewöhnlichen Endkolben der einfachen Augen gleicht und auch nach Art derselben sich nach Hinten mit dem in einer Pigmentscheide eingeschlossenen Nervenstäbchen in Verbindung setzt. Die Differenzirung des Endapparates ist also noch weiter fortgeschritten, als das sonst gewöhnlich bei den Arthropoden der Fall ist.

§ 67. Wenn wir nun diese einfachen Augen der Raupen und Copepoden, die je nur einen einzigen Krystallkegel in sich einschliessen und, wie ich hier nochmals wiederhole, nach allen unseren dermaligen Kenntnissen von dem anatomischen und optischen Verhalten der Gesichtsorgane auch immer nur je einen einzigen Lichtpunct zur Perception bringen, in dicht gedrängter Menge zu einem gemeinschaftlichen Körper der Art vereinigt denken, dass zwischen ihnen kaum mehr als die umhüllenden Pigmentscheiden hinziehen, dann bekommen wir gleich von vorn herein ein ziemlich vollständiges Bild von den sog. zusammengesetzten Augen. Der conischen Form der Einzelaugen entsprechend, zeigen die Endapparate derselben natürlich eine radiäre Anordnung, in Folge deren die äusseren Körperhüllen, soweit sie darüber hinziehen, buckel- oder halbkugelförmig nach Aussen vorspringen. Je weiter diese Hervorragung sich wölbt, desto mehr wächst natürlich auch die Divergenz der Einzelaugen und damit zugleich der Umfang des Gesammthorizontes, so dass schon die äussere Form der zusammengesetzten Augen einen Rückschluss auf die Lebens- und Bewegungsweise der Arthropoden gestattet. Die Zahl der Einzeleindrücke, aus denen das Bild dieses Horizontes sich zusammensetzt, richtet sich begreiflicher Weise nach der Menge der Einzelaugen. In der Regel zählt man deren mehrere Tausend, bei der Heuschrecke 2000, der Fliege 5000, der Libelle 10,000, dem Todtenkopfe sogar 12,000. Daneben fehlt es freilich auch nicht an Beispielen, in denen diese Zahl beträchtlich sinkt. So hat die Ameise u. a. nur 50, die Käfergattung Pselaphus nur 20 Einzelaugen, die in die Bildung der zusammengesetzten Gesichtswerkzeuge eingehen.

Fig. 68.



A Schematischer Durchschnitt durch ein zusammengesetztes Arthropodenauge. *n* Sehnerv. *g* Ganglienanschwellung desselben. *r* Krystallstäbchen aus dem Ganglion hervortretend. *c* Facettirte Cornea, vom Integument gebildet, wobei jede Facette durch Convexität nach innen als lichtbrechendes Organ (Linse) erscheint. *B* Einige Hornhautfacetten von der Fläche gesehen.

Dass diese letzteren trotz ihrer Zusammensetzung ein gemeinschaftliches Ganzes bilden, geht nicht bloss daraus hervor, dass die einzelnen Theile in dichter Aggregation dem ganglionär verdickten Endstücke des Opticus aufsitzen und äusserlich von einer gemeinschaftlichen sog. Hornhaut überzogen werden, sondern weiter auch aus der Anwesenheit einer derbhäutigen Kapsel, die nicht selten bei den grösseren Insekten vom Rande der Hornhaut aus sich entwickelt und als eine directe Fortsetzung der äusseren Chitinhüllen ringförmig bis auf das *Ganglion opticum* vorspringt. Bei den kleineren Arten ist die Stelle dieser Kapsel von einer weichen Bindesubstanz vertreten, die, wie an den einfachen Augen, in das Neurilemm des Sehnerven übergeht. Gleichzeitig wird aber auch die vordere Fläche des Ganglions, die gewissermaassen den Boden der Augenhöhle

abgiebt, von einer dünnen und hellen Membran bekleidet, die von zahlreichen zum Durchtritt der Nervenfasern bestimmten Oeffnungen durchbrochen ist (*M. limitans*).

Die Zahl der Einzelaugen, die diesen gemeinschaftlichen Körper zusammensetzen, lässt sich in der Regel schon aus dem Verhalten der sog. Hornhaut entnehmen. Schon der älteste Untersucher der Insektenaugen, Swammerdamm, hat an derselben eine eigenthümliche Facettirung gesehen und beschrieben, wie sie sonst nirgends weiter an den Chitinhüllen unserer Thiere zur Entwicklung kommt. Es sieht aus, als wenn die Hornhaut in ihrer ganzen Dicke von zahlreichen Nähten durchzogen wäre, die in regelmässiger Anordnung stehen und dieselbe in ein System von dichtgedrängten vier- oder sechseckigen kleinen Prismen auflösen, deren Köpfe sich in der Flächenansicht natürlich (Fig. 68 *B*) als entsprechend gestaltete kleine Felder zu erkennen geben. Die Ränder der Felder sind mitunter dunkelgelb oder gelbbraun gefärbt und undurchsichtig, so dass nur das centrale Segment die Lichtstrahlen ungehindert durchlässt, und in manchen Fällen sogar mit einem spärlichen Haarbesatze versehen.

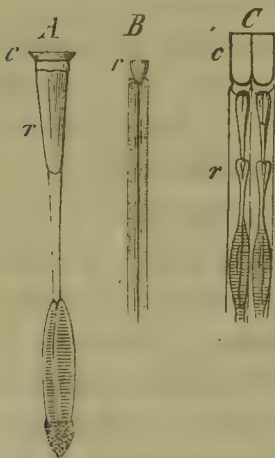
Bei den Krebsen sind diese Prismen gewöhnlich von geringer Höhe und von ebenen Flächen begränzt, während sie bei den Insekten nicht bloss beträchtlich sich verlängern, sondern auch beiderseits oder doch wenigstens einerseits sich wölben und zu förmlichen Linsen werden, wie wir sie oben auch in den einfachen Augen antrafen. Die Anwesenheit dieser Cylinderlinsen hat der Ansicht einigen Vorschub geleistet, dass schon die einzelnen Theilstücke der zusammengesetzten Augen bei den Arthropoden die Fähigkeit hätten, Bilder zu sehen, die letzteren also ihrem optischen Werthe nach ganz anders zu beurtheilen seien, als das von uns in Anschluss an J. Müller geschehen ist. Allein auch abgesehen von dem bereits mehrfach betonten Verhalten der Endorgane, spricht doch schon der Umstand zur Genüge gegen diese Ansicht, dass die Facetten der Krebse (wohl im Zusammenhang mit dem hohen Brechungsindex des Wassers) mit wenigen Ausnahmen überhaupt keine Linsenwirkung ausüben, also auch kein Bild zu erzeugen im Stande sind. Für diese Thiere bliebe demnach unter allen Umständen die Müller'sche Theorie von dem musivischen Sehen zu Recht bestehen. Aber auch bei den Insekten dient die Linse der Einzelaugen offenbar nicht zur Entwerfung eines Focalbildes, sondern nur zur Sammlung der auf die Facettenfläche in Büschelform auffallenden Strahlen, so dass der Vortheil der betreffenden Einrichtung wesentlich nur in der Erzielung einer grösseren Lichtstärke zu suchen sein dürfte, wie das auch schon früher (S. 149) von uns hervorgehoben wurde. Ganz eben so ist natürlich auch die Linsenwirkung in den einfachen Augen mit nur einem einzigen Endorgane zu beurtheilen.

Hinter je einer solchen Facette liegt nun ein Krystallkegel mit Seh- oder Nervenstab, der letztere von einer sehr viel bedeutenderen Länge und Entwicklung, als wir das in den einfachen Augen vorgefunden haben. Sie füllen beide den Zwischenraum zwischen den Facetten und der Limitans und zwar so vollständig, dass nur an der vorderen Fläche des Krystallkegels ein dünner Spaltraum übrig bleibt, der von einer hellen Substanz (dem sog. Glaskörper) ausgefüllt ist. Im letzteren findet man gewöhnlich vier kreuzweis gestellte helle Zellenkerne (die Semper'schen Kerne). Die Zahl Vier ist für den Bau der End-

organe in den zusammengesetzten Augen auch sonst noch vielfach maassgebend, indem sowohl der Krystallkegel, wie auch der Nervenstab gewöhnlich eine deutlich vierlappige resp. vierkantige Gestalt hat. Es resultirt das aus der Entwicklungsgeschichte der betreffenden Gebilde, die an acht Zellen anknüpft, welche sich zapfenförmig aus der Hypodermis erheben, sich je zu vieren etagenweis über einander ordnen und dann Krystallkegel und Nervenstab in ihrem Innern ausscheiden (Claparède, Landois). Die dünne Scheide, welche die Endorgane in ganzer Länge röhrenförmig überzieht und stützt, ist offenbar ein Ueberbleibsel dieser Zellen. Ebenso die Kerne, die man nicht bloss vorn im sog. Glaskörper, sondern auch weiter unten, besonders (wie in dem einfachen Auge) an der Verbindungsstelle zwischen Krystallkörper und Sehstab antrifft. Uebrigens wollen wir schon hier bemerken, dass die Viertheilung — in den Raupenaugen haben wir statt ihrer oben eine Dreitheilung angetroffen — unter Umständen noch weiter geht und bei den Krebsen nicht selten auch in einer entsprechenden Abtheilung der Facetten ihren Ausdruck findet.

Die Länge der Krystallkegel wechselt zwischen 0,23 und 0,05 Mm. und ebenso ihre Breite zwischen 0,05—0,008 Mm. Die grössten trifft man bei den Krebsen, wie denn überhaupt diese Thiere durchschnittlich grössere Krystallkegel besitzen, als die Insekten. Es sind gewöhnlich langgestreckte Gebilde, die sich allmählich zuspitzen und öfters in einen fadenförmigen Stiel ausziehen. Bei den Insekten ist die Gestalt viel mannichfaltiger, obwohl die Kegelform auch hier die Grundform ist. Als Gegensätze dürften einerseits die Nachtschmetterlinge mit ihren langen und schlanken unten zugespitzten Cylindern, andererseits aber die Fliegen mit ihren kurzen und gedrungenen Kegeln hervorzuheben sein. In den grossen Krystallkörpern der Krebse ist die Substanz nicht selten, wie wir das auch schon in dem einfachen Auge vom Corycaeus und anderen Copepoden gefunden haben, in drei auf einander folgende Abschnitte geschieden, von denen der mittlere sich auch hier durch stärkeres Lichtbrechungsvermögen und convexe Endflächen als eine förmliche Linse zu erkennen giebt. Sonst ist die Substanz der Krystallkegel von gleichmässig weicher Beschaffenheit. Nur bei den Käfern und Nachtschmetterlingen wird die Resistenz etwas grösser. Unter den ersteren giebt es sogar einzelne Arten (Elater, Lampyris), bei denen die Krystallkegel so hart werden, wie die Facetten, mit denen sie sich dann auch zu einer gemeinschaftlichen Masse verbinden.

Fig. 69.



Endorgane vom Krebs (A), der Fliege (B), einem Käfer (C), c Cornea, r Krystallstäbchen.

Die Bildung der Seh- oder Nervenstäbe ist übrigens noch mannichfaltiger und complicirter, als die der Krystallkegel. Im Allgemeinen erscheinen dieselben als stabartige, schlanke Cylinder, die an Dicke hinter den Krystallkegeln zurückstehen, an Länge ihnen aber meist um ein Mehrfaches (bei den Fliegen u. a. um das Sechs- bis Achtfache) überlegen sind. Nach den Besonderheiten der Gestaltung kann man dieselben in zwei Abtheilungen bringen. Die einen haben in ganzer Ausdehnung die gleiche Dicke und reichen in wesentlich gleicher

Structur vom Krystallkegel bis zum *Ganglion opticum.* Sie finden sich bei der Mehrzahl der Insekten und namentlich denen mit weichen Krystallkegeln, wogegen die Arten mit harten Krystallkegeln, die Nachtschmetterlinge also und zahlreiche Käfer, durch den Besitz einer spindelförmigen glänzenden Anschwellung in der unteren Hälfte des Stabes sich auszeichnen, während sie oben dafür entsprechend verdünnt sind. Die Krebse zeigen gewöhnlich eine Mittelform, indem die spindelförmige Verdickung sich über die ganze Länge oder doch den grössten Theil derselben ausdehnt. Die von der äusseren Scheide umhüllte Stäbchensubstanz hat gelegentlich einen röthlichen Schimmer, wie das (freilich weniger prononcirt) auch bei manchen Wirbelthieren (Rana, Pelobates) gefunden wird, ist dabei aber glashell und weich, wie sonst, und in der Regel auch deutlich geschichtet, weit deutlicher, als irgend wo anders. Die Achse wird von einem Canale durchzogen, der sich meist scharf markirt, so dass die Stäbchen, wie auch oben schon für die einfachen Augen der Spinne bemerkt wurde, eine entschieden röhrenförmige Bildung besitzen. Durch den Achsencanal verläuft ein Faden, der bei den Fliegen eine auffallende Dicke besitzt und aus acht Fibrillen besteht (Schultze, nach Steinlin nur aus vier), die sich durch die Löcher der Limitans hindurch in den Opticus hinein verfolgen lassen, unzweifelhaft also nervöser Natur sind. Der an den Stäbchen oftmals hinziehenden vier Längskanten ist schon oben gedacht worden; wir haben hier nur noch hinzuzufügen, dass diese Bildung in vielen Fällen zu einer förmlichen Auflösung des Stäbchens in vier neben einander gelegene prismatische Säulen hinführt. So ist es namentlich in den spindelförmigen Verdickungen der Sehstäbchen, besonders bei den Krebsen, doch fehlt es auch nicht an Fällen, in denen die Spaltung durch die ganze Länge der Stäbchen hindurch sich verfolgen lässt (Libelluliden).

Die früheren Beobachter (unter ihnen auch Leydig) waren der Ansicht, dass Sehstab und Krystallkegel unter sich in continuirlichem Zusammenhange ständen. Und der Anschein spricht in vielen Fällen auch sehr evident zu Gunsten dieser Annahme. Allein die Untersuchungen Schultze's haben das Gegentheil erwiesen und dargethan, dass beiderlei Gebilde wohl unter sich in inniger Verbindung sind, aber nirgends direct und unmittelbar zusammenhängen. Auch lassen sich die axillaren Nervenfibrillen immer nur bis an die Spitze der Kegel verfolgen, an der sie unter dem Schutze der continuirlich über den ganzen Endapparat hinziehenden Scheide mit einer pinselförmigen Ausstrahlung endigen.

Schultze ist hierauf hin der Ansicht, dass die Krystallkegel von den Stäbchen durchaus verschieden seien. Er hält die ersteren, und sie allein, für cuticulare Abscheidungen, wie die Facetten, denen sie sich auch ihrem optischen Werthe nach anschlössen, während er die Nervenstäbchen mit ihrer ganzen Masse als nervöse Gebilde in Anspruch zu nehmen geneigt ist. In derselben Weise deutet Schultze bekanntlich auch die Stäbchen der höheren Thiere. Dass das mit Unrecht geschieht, bedarf nach den Aufschlüssen, die wir namentlich durch Hensen über die Stäbchen der Mollusken erhalten haben, keines weiteren Nachweises. Ein Cuticulargebilde — und ein solches ist das Retinastäbchen in allen Fällen — ist zu einer selbstständigen Perception unfähig. Wenn wir die Stäbchen trotzdem als percipirende Endorgane bezeichnen, so ist das natürlich nicht ganz wörtlich zu nehmen. In Wirklichkeit haben sie nur die Aufgabe, die Lichteindrücke auf die mit ihnen in engster Verbindung stehenden Nervenfibrillen zu

übertragen. Und eine solche Function müssen wir auch den Krystallkegeln vindiciren, wenngleich die Art der Uebertragung immerhin eine andere sein mag.

Aller Wahrscheinlichkeit nach besteht der Nutzen der Krystallkegel zunächst in einer Spiegelung derjenigen Lichtstrahlen, die parallel oder nahezu parallel mit dem Achsenstrahle einfallen und in Folge der (vielleicht mehrfach wiederholten) Reflexion dann schliesslich mit dem Achsenstrahl zusammen zur Perception kommen. Es sind besonders die Arten ohne Hornhautlinse, bei denen die Bedeutung dieser Function auf der Hand liegt. Wo es dagegen die Facette ist, die in Folge ihrer Linsenform die Sammlung der Lichtstrahlen übernimmt, da dürfte der Glaskörper vornehmlich insofern von Werth sein, als er bei seinem geringeren Brechungsvermögen die Focaldistanz verlängert und in die Spitze des Krystallkegels verlegt, wo die Nervenfibrillen an denselben hinantreten.

Dass die Stäbchen und Krystallkörper in ganzer Länge durch ein reichlich eingestreutes dunkles Pigment umhüllt und isolirt sind, braucht nach den früheren Bemerkungen über das musivische Sehen kaum noch besonders hervorgehoben zu werden. Die Anwesenheit desselben ist ein nothwendiges Requisit der zusammengesetzten Augen, insoweit diese wenigstens das Sehen eines wirklichen Bildes vermitteln. Am Vorderende erstreckt sich das Pigment nicht selten auch noch über den Rand der Krystallkegel hinaus, so dass man fast von einer Art Iris sprechen kann, zumal in solchen Fällen die dunklen Pigmente gelegentlich von anderen (besonders grauen und gelben) vertreten sind. Die Abend- und Nachtfalter besitzen auch ein Tapetum, das da, wo es am stärksten entwickelt ist (z. B. bei dem Windenschwärmer), die Augen leuchten lässt »wie glühende Kohlen«. Abweichender Weise wird dasselbe aber nicht von irisirenden Flittern oder Körnchen gebildet, sondern von einem Tracheenüberzuge, der den hintern Theil der Sehstäbe umgiebt, und aus zahllosen feinen Längszweigen sich zusammensetzt. Die übrigen Insekten sind in der Peripherie ihrer Sehstäbe gleichfalls mit Tracheen versehen, doch erreichen diese nirgends auch nur annäherungsweise eine gleiche Entwicklung.

Ausser den Tracheen stösst man in der Pigmentmasse des Insektenauges auch noch auf Muskelelemente, die in Form von quergestreiften Fibrillen den Nervenstab je zu vier umgeben und bis in den irisartigen Gürtel hinein sich verfolgen lassen (Leydig). Man sieht sie im Innern desselben in ein feines Büschel sich auflösen, das eine Art radiären Muskelgeflechtes zusammensetzt. Da auch das untere Ende der Fibrillen in ähnlicher Weise faserig sich gestaltet, darf man wohl annehmen, dass der Contractionseffect in einer Verkürzung des Krystallkegels seinen Ausdruck finde, die betreffende Muskeleinrichtung also als ein Accommodationsapparat zu fungiren habe, wie er bei gleichzeitiger Anwesenheit einer Linse überall da nothwendig ist, wo die Thiere Gegenstände verschiedener Entfernung zu sehen im Stande sind (S. 149).

Wenn die Pigmentscheiden im Umkreis der Endorgane unvollständig werden oder gar fehlen, dann geht natürlich auch die Fähigkeit distincte Bilder zu sehen verloren. Bei gleichzeitiger Abwesenheit der Facettirung lässt sich das Auge dann von einem linsenlosen einfachen Auge (wie es z. B. bei den Hühnerläusen sich findet) nicht mehr unterscheiden. So ist es u. a. zweifelhaft, ob das unpaare grosse Nackenauge der Daphniaden, dessen Krystallkegel nach allen Rich-

tungen frei aus der pigmentirten Centralmasse (Ganglion und Sehstäbe) hervorragen, als zusammengesetztes oder einfaches Gesichtsorgan zu deuten sei. Jedenfalls fehlt es demselben an den zur Isolirung der Lichtstrahlen sonst vorhandenen Einrichtungen, so dass seine Function mehr in der Aufnahme eines Gesammteindruckes als der Unterscheidung einer grösseren Menge scharf umschriebener Lichtpuncte bestehen wird. Damit stimmt auch die merkwürdige Erscheinung, dass dieses Auge in beständig zitternder Bewegung begriffen ist, die ein deutliches Sehen kaum zulassen würde. Als Motoren wirken dabei jederseits drei Muskelfasern, die in den Seitentheilen des Kopfes entspringen und an verschiedenen Stellen mit dem hellen kapselartigen Ueberzuge des Auges in Verbindung treten.

§ 68. Wo bei den Arthropoden während des Entwicklungslebens zwei von einander verschiedene Gesichtswerkzeuge auf einander folgen, da entstehen die späteren nicht aus, sondern neben den ersteren. Die definitiven Augen bilden also ein selbstständiges Organ, das, wenn auch in der Nähe der Larvenaugen, doch von denselben unabhängig seinen Ursprung nimmt, und zwar, wie das oben schon erwähnt wurde, von der Hypodermis aus, die sich zu diesem Zwecke in Form einer besonderen kleinen sog. Imaginalscheibe verdickt (Landois). Die Endorgane entstehen also unabhängig von den Nerven und treten erst später damit in Zusammenhang. Durch die Ausbildung und das Wachsthum derselben werden die Larvenaugen natürlich zur Seite gedrängt und zum Schwinden gebracht, doch gelingt es in vielen Fällen, besonders bei Käfern, die Ueberreste derselben in Form von pigmentirten kleinen Knöpfchen noch in der Nachbarschaft der facettirten Augen am *Ganglion opticum* aufzufinden (Leydig, Landois).

Würmer.

J. Müller, Sur la structure des yeux chez les Gastéropodes et quelques Annélides. Annales des scienc. natur. 1831. T. XXII. p. 19.

Quatrefages, Sur les organes des sens chez les Annélés. Ibid. 1850. T. XIII. p. 30.

Claparède, Les Annélides chétopodes du golf de Naples. Genève et Bale 1868. Supplement 1870. l. d.

Krohn, Zoologische und anatomische Bemerkungen über die Alciopen. Archiv für Naturwiss. 1845. Th. I. S. 179. (Augen.)

Kroyer, Bidrag til kundskab on Sabellerne. Kgl. Videnskab. Selskab. Forhandl. 1856.

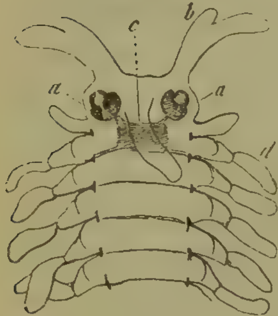
Kölliker, Ueber Kopfkiemer mit Augen an den Kiemen. Zeitschr. für wissensch. Zool. 1858. Bd. IX. S. 536.

Leydig, Die Augen und neue Sinnesorgane der Egel. Arch. für Anat. und Physiol. 1861. S. 588.

§ 69. Die Gesichtswerkzeuge der Würmer zeigen sowohl in Zahl und Vertheilung am Körper, wie auch in Bau und Entwicklung eine ausserordentliche Mannichfaltigkeit, weit grösser, als das in irgend einer anderen Thiergruppe der Fall ist. In der Regel sind dieselben allerdings in der Nähe des sog. Hirnes am Kopfe angebracht. Aber nicht bloss, dass sie hier in bald geringerer, bald auch grösserer Menge und in wechselnder Gruppirung beisammen stehen, sie ver-

breiten sich von da gelegentlich auch nach hinten über die einzelnen Segmente bis an das äusserste Leibesende, oder nach Vorn auf die Kopfanhänge, wie das schon bei einer früheren Gelegenheit (S. 156) hervorgehoben wurde. Dabei vertreten sie die verschiedensten Entwicklungszustände. Hier erscheinen sie als einfache, dem Hirnknoten aufsitzende Pigmentflecke (bei zahlreichen sog. Turbellarien), dort, bei vielleicht ganz nahe verwandten Arten, als solche mit einer oder zwei hellen Kugeln, die aus dem Pigmente hervortauchen und gewöhnlich als Linsen gedeutet werden, obwohl die Zahl dieser Körperchen sich nicht selten der Art vergrössert, dass dadurch eine unverkennbare Aehnlichkeit mit den Augen gewisser Arthropoden, besonders der Daphniaden entsteht, die dann dafür spricht, dass die betreffenden Gebilde mehr den Krystallkörpern, als den Linsen an die Seite zu stellen seien. Hierher gehören namentlich die Augen an den Kopf- oder Kiemenfäden der Sabellen, in denen die Zahl dieser Körperchen nicht etwa bloss auf ein oder zwei Dutzend, sondern gelegentlich bis auf 50 und 60 heranwächst. Aehnlich verhalten sich die Augen der Sagitten, während die der Chätopoden gewöhnlich einen anderen Bau besitzen und als dünnhäutige Kapseln erscheinen, deren Inhalt aus einer wirklichen Linse und einer dieselbe wulstförmig umfassenden Pigmentmasse besteht. Wo diese Augen eine grössere Entwicklung erreichen, erkennt man in dem Pigmentkörper eine Zusammensetzung, wie in der pigmentirten Retina der Gasteropoden. So besonders bei den schwimmenden Alciopen, die durch die mächtige Grösse ihrer Augen fast an die Heteropoden erinnern und durch die Ausbildung ihrer Stäbchenlage dieselben sogar noch zu übertreffen scheinen.

Fig. 70.



Kopf mit den vordersten Segmenten einer Myrianida. *a* Augen, *b* Fühler, *c* Unpaarer Stirnfühler, *d* Cirren.

Sehr eigenthümlich und abweichend von Allem, was wir bisher über die Organisation der Gesichtswerkzeuge kennen lernten, verhalten sich die Augen der Blutegel. Nach Leydig's Untersuchungen bestehen dieselben beim Sanguisuga aus einer becher- oder glockenförmigen Einstülpung der äusseren Körperhaut, die von zahlreichen Pigmentzellen umfasst wird und eine Lage grosser heller Zellen in sich einschliesst. Die letzteren gehen continuirlich in die Epidermiszellen über, sind also nichts Anderes, als verwandelte Hautzellen. Zwischen ihnen bleibt in der Achse des Bechers ein Hohlraum, der von einem Bündel feiner Fäden durchsetzt wird, die vom Grunde des Augenbechers sich erheben und eine directe Fortsetzung der Sehnervenfasern darstellen. Eine Verbindung mit den anliegenden Zellen liess sich nirgends nachweisen; Leydig ist der Meinung, dass die Fasern am oberen Ende des Auges frei und unbedeckt endigen. Die Verschiedenheiten, welche die einzelnen Arten in dem Bau des Auges zeigen, beruhen im Wesentlichen auf einer mehr oder minder flachen Bildung des Bechers. Bei Piscicola — die auch am Saugnapf solche Augen trägt — ist derselbe vollständig verstrichen und von halbkreisförmig gruppirten hellen Zellen auf dem Pigmentflecke vertreten.

Dass übrigens die grössere Mehrzahl der Würmer der Gesichtswerkzeuge vollständig entbehrt oder damit nur in der Jugend, während des Schwärmzu-

standes, ausgestattet ist, bedarf bei der bekannten Lebensweise derselben vielleicht kaum der ausdrücklichen Erwähnung.

Strahlthiere.

Häckel, Ueber die Augen und Nerven der Seesterne. Zeitschr. für wissensch. Zool. 1859. Bd. X. S. 183—191.

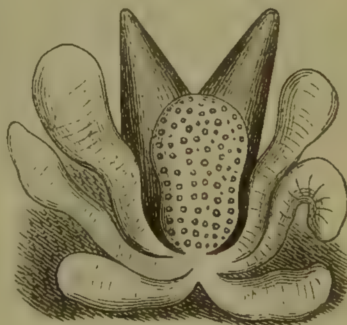
Ehlers, Ueber den Bau der Echinodermen. Sitzungsber. der Gesellsch. zur Beförderung der Naturwiss. zu Marburg. 1871. Nr. 8.

Gegenbaur, Bemerkungen über die Randkörper der Medusen. Archiv für Anat. und Physiol. 1856. S. 230—250.

§ 70. Unter den Strahlthieren ist die Anwesenheit von Gesichtswerkzeugen noch seltener, als bei den Würmern. Wenn wir von einigen zweifelhaften Fällen absehen, dann sind es eigentlich nur die Seesterne und Schirmquallen, bei denen wir derartige Gebilde vorfinden.

Bei den Seesternen nehmen die Augen beständig die Spitze der Arme ein, die gewöhnlich aufwärts gebogen und dem Lichte zugekehrt ist. Sie haben die Gestalt eines birnförmigen weichen Zapfens, der von den anliegenden Ambulacralfüsschen und Strahlen umfasst und geschützt wird, und ergeben sich bei näherer Untersuchung als die aufgetriebenen Enden der bekanntlich von einem Centralcanale durchsetzten Armnerven. Die Aussenfläche des Zapfens ist nur von einer dünnen Epithellage und einer Cuticula überzogen. Was dieses Gebilde nun aber zu einem Auge macht, das ist die Anwesenheit zahlreicher Krystallkegel, die mit ihren gewölbten Basalflächen in ziemlich regelmässigen Abständen aus demselben hervorragen und bis auf die letztern je mit einem pigmentirten Ueberzuge versehen sind. Die Augen der Seesterne gehören also, gleich den Kiemenaugen der Sabellen, zu den sogenannten zusammengesetzten Gesichtswerkzeugen.

Fig. 71.



Auge von Asteracanthion glacialis (nach Häckel), von Stacheln und Ambulacralfüsschen umgeben.

Im Gegensatze hierzu erscheinen die Gesichtsorgane der Medusen als einfache Pigmentflecke, die gewöhnlich der weitern Einlagerungen entbehren und nur in seltenen Fällen (Charybdea) einen sphäroidalen Körper von starkem Lichtbrechungsvermögen in sich einschliessen. In ihrer peripherischen Lage stimmen diese Gebilde mit den Augen der Seesterne überein. Sie stellen mitsammt den Gehörwerkzeugen, die bei der Mehrzahl der Medusen anstatt der Gesichtsorgane entwickelt sind, die sog. Randkörperchen dar, deren Zahl und Beschaffenheit von Seite der beschreibenden Zoologie bei der Charakteristik der einzelnen Gruppen und Arten vielfache Berücksichtigung findet.

Capitel VIII.

Die Circulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges.

Von

Dr. **Th. Leber,**
Prof. in Göttingen.

I. Anatomischer Theil.

1. Abschnitt.

Die Blutgefässe des Auges.

§ 1. Die Blutgefässe des Augapfels bilden zwei fast vollständig getrennte Systeme, das Netzhautgefässsystem und das Aderhaut- oder Ciliargefässsystem, welche nur an der Eintrittsstelle des Sehnerven durch feine Zweige mit einander zusammenhängen.

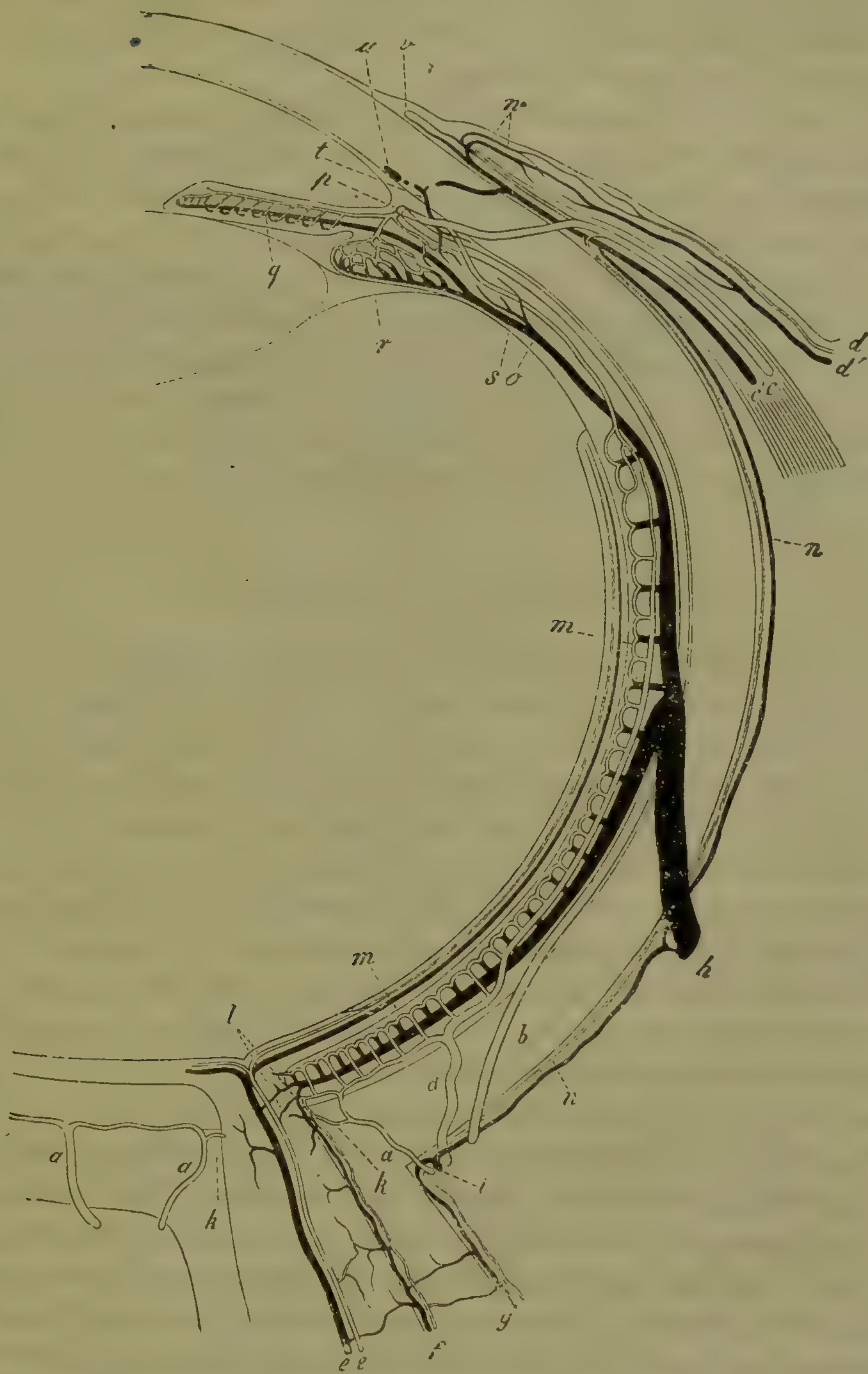
Das Netzhautgefässsystem versorgt ausser der Netzhaut auch noch einen Theil des Sehnervenstammes: das Ciliargefässsystem ausser dem Aderhauttractus (*Choroidea*, *Corpus ciliare* und *Iris*) auch die Sklera, den Hornhautrand und den zunächst an letzteren grenzenden Theil der Skleralbindehaut.

Der übrige Theil der Skleralbindehaut, die Uebergangsfalte und die Bindehaut der Lider erhält besondere Gefässe, welche von denen der Lider abstammen, und das Bindehautgefässsystem bilden.

A. Die Gefässe der Netzhaut und des Sehnerven.

§ 2. Das Netzhautgefässsystem wird gebildet von den Verzweigungen der *Art.* und *V. centralis retinae.* Als accessorische Gefässe kommen noch hinzu an der Eintrittsstelle des Sehnerven kleine arterielle Zweige aus dem *Circ. arteriosus n. optici* und feine arterielle und venöse Zweigchen aus dem Sehnervenrande der Choroidea.

Fig. 1.



Schematische Darstellung des Gefässverlaufs im Auge. Horizontalschnitt. Venen schwarz, Arterien hell. *a* Aa. cil. post. br. *b* A. cil. p. long. *cc'* A. u. V. cil. ant. *dd'* A. u. V. conj. post. *ee'* A. u. V. centr. ret. *f* Gefässe der inneren, *g* der äusseren Opt.-scheide. *h* V. vort. *i* Ven. cil. p. brev. *k* Ast der A. cil. p. br. zum Opt. *l* Anastom. der Chor.-gefässe mit denen d. Opt. *m* Choriocapillaris. *n* Episklerale Aeste. *o* A. recurrens chor. *p* Circ. art. irid. maj. (Querschnitt). *q* Gefässe der Iris. *r* Ciliarfortsatz. *s* Ast der V. vort. aus dem Ciliarmuskel. *t* Ast der vorderen Ciliarvene aus dem Ciliarmuskel. *u* Circ. venosus. *v* Randschlingennetz der Hornhaut. *w* Art. u. Ven. conj. ant.

Der Sehnervenstamm wird theilweise ebenfalls von den Centralgefässen besorgt, theilweise von besonderen Gefässen, welche sich auf seinen beiden Scheiden verästeln, den Scheidengefässen des Sehnerven.

Die *Art. centralis retinae* entsteht in der Tiefe der Orbita entweder aus dem Stamm der *A. ophthalmica* selbst oder von einem ihrer Aeste. Sie tritt,

15—20 Mm. vom Auge entfernt, in schräger Richtung in den Sehnervenstamm ein und gelangt allmälig in die Axe des Nerven, wo sie umhüllt von einer bindegewebigen Scheide, und weiterhin von der *Vena centr. ret.* begleitet, nach dem intraocularen Sehnervenende hin verläuft.

Die *Vena centr. ret.* ergiesst sich entweder direct in den *Sinus cavernosus*, was die Regel ist (ZINN, WALTER), wobei sie aber nach SESEMANN meistens einige starke Anastomosen mit der *Ven. ophth. sup.* eingeht; seltener mündet sie allein in die letztere, ausnahmsweise auch in die *Ven. ophth. inf.* (WALTER, SESEMANN).

Sie verläuft, nachdem sie zum Sehnerven hingetreten, eine Strecke weit zwischen den Scheiden auf der Oberfläche des Nerven hin, wobei sie Zweigchen zur Scheide abgiebt und tritt erst in geringerer Entfernung vom Auge, als die Arterie, in den Opticusstamm ein. Von da an zieht sie in der Axe des Nerven, gewöhnlich dicht neben der Arterie, seltener in eine besondere bindegewebige Scheide gehüllt (HENLE) nach dem Sehnerveneintritt hin.

Die Gefässe des Sehnerven.

§ 3. Der intracranielle Theil des Opticus, das *Chiasma n. o.* und die *Tractus optici* werden versorgt von den in der Nähe dieser Theile verlaufenden Gefässen der *Pia mater* und des Gehirns. Dieselben erzeugen ein Gefässnetz auf der — hier allein vorhandenen — inneren Scheide, von welchem zahlreiche Zweigchen in die Substanz des Nerven hinein abgehen (ZINN). Dasselbe Verhalten wiederholt sich am orbitalen Theil des Opticus: derselbe erhält von der *Art.* und *V. ophth.* und ihren Aesten kleine inconstante Zweige, welche auf beiden Sehnervenscheiden continuirliche Gefässnetze mit in die Länge gezogenen Maschen erzeugen. (*A. vaginalis* für die äussere, *A. interstitialis* für die innere Scheide HYRTL). Die Art und Weise der Verästelung stimmt ganz mit der der Gefässe der Sklera überein.

Das Netzwerk der innern Scheide hängt am *Foramen opticum* mit dem des intracraniellen Theils des Sehnerven zusammen; in der Orbita stehen auch die Gefässe der äusseren und inneren Scheide mit einander in Verbindung.

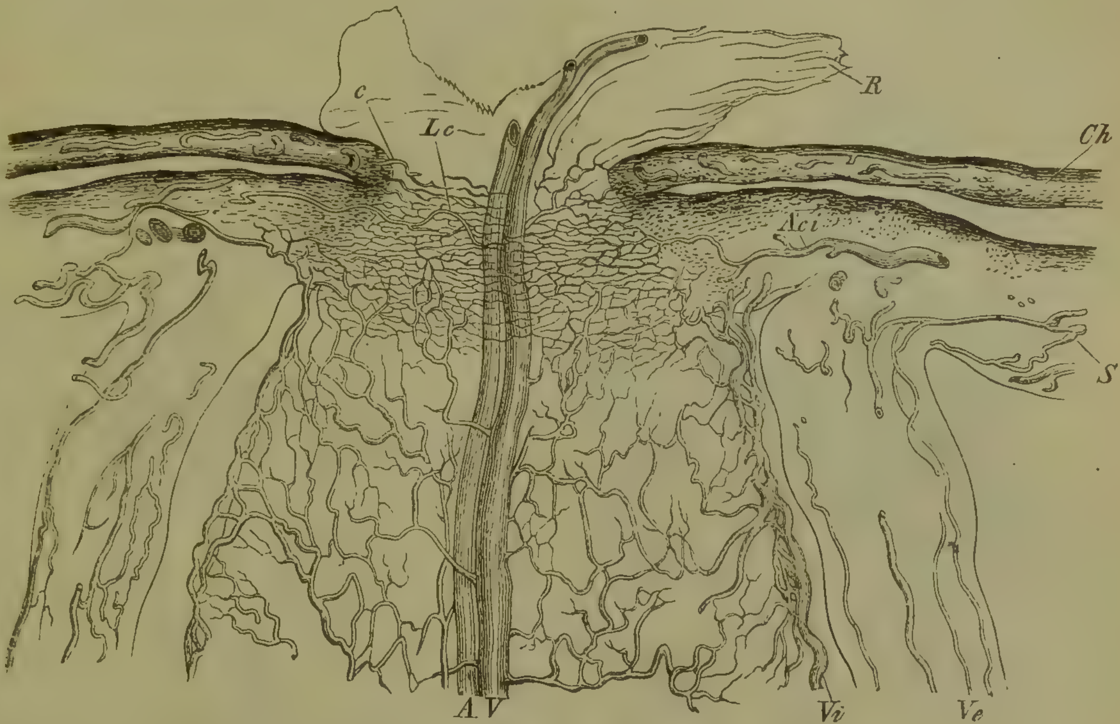
Von den Gefässen der inneren Scheide werden auch im orbitalen Theil zahlreiche Zweigchen in das Innere des Nerven abgegeben und soweit der Sehnerv keine Centralgefässe besitzt, wird er ausschliesslich von dieser Seite ernährt. Vom Eintritt der Centralgefässe an betheiligen sich aber auch diese an der Bildung des Gefässnetzes, das also von da an, sowohl von der Axe, als auch von der Oberfläche des Nerven aus entsteht. Die von der Arterie während ihres Verlaufs durch den Nerven abgegebenen Zweige schienen mir spärlicher zu sein als die der Vene[1]).

Die Gefässe des Opticus verlaufen überall, sowohl im orbitalen als im intracraniellen Theil, innerhalb der Bindegewebsbalken, von welchen der Nerv durchzogen ist und welche um die Gefässe eine Art Scheide bilden, wie dies schon für die Centralgefässe angegeben wurde. Die Gefässverzweigungen entsprechen daher dem Netze dieses Balkenwerkes. Besonders

1) Vgl. auch SCHWALBE's Angaben im I. Band 1. Theil dieses Handbuchs S. 345 u. 346.

deutlich tritt dies auch an der *Lamina cribrosa* hervor, wo mit der Aenderung im Charakter des Balkenwerkes auch das Gefässnetz ein anderes Aussehen gewinnt. Die sonst mehr längs verlaufenden, durch quere und schiefe

Fig. 2.



Längsschnitt durch die Eintrittsstelle des Opticus. Injection von der A. ophth. aus. Netzhautgefässe ungenügend injicirt. *S* Sklera. *Ch* Choroidea. *R* Retina. *Ve* äussere, *Vi* innere Opticusscheide. *A* Art. cent. ret. *V* Ven. centr. ret. *Lc* Lamina cribrosa. *Aci* Kurze h. Ciliararterie, die einen Zweig zum Opticus abgiebt. *c* Gefässverbindungen zwischen Choroidea und Opticus.

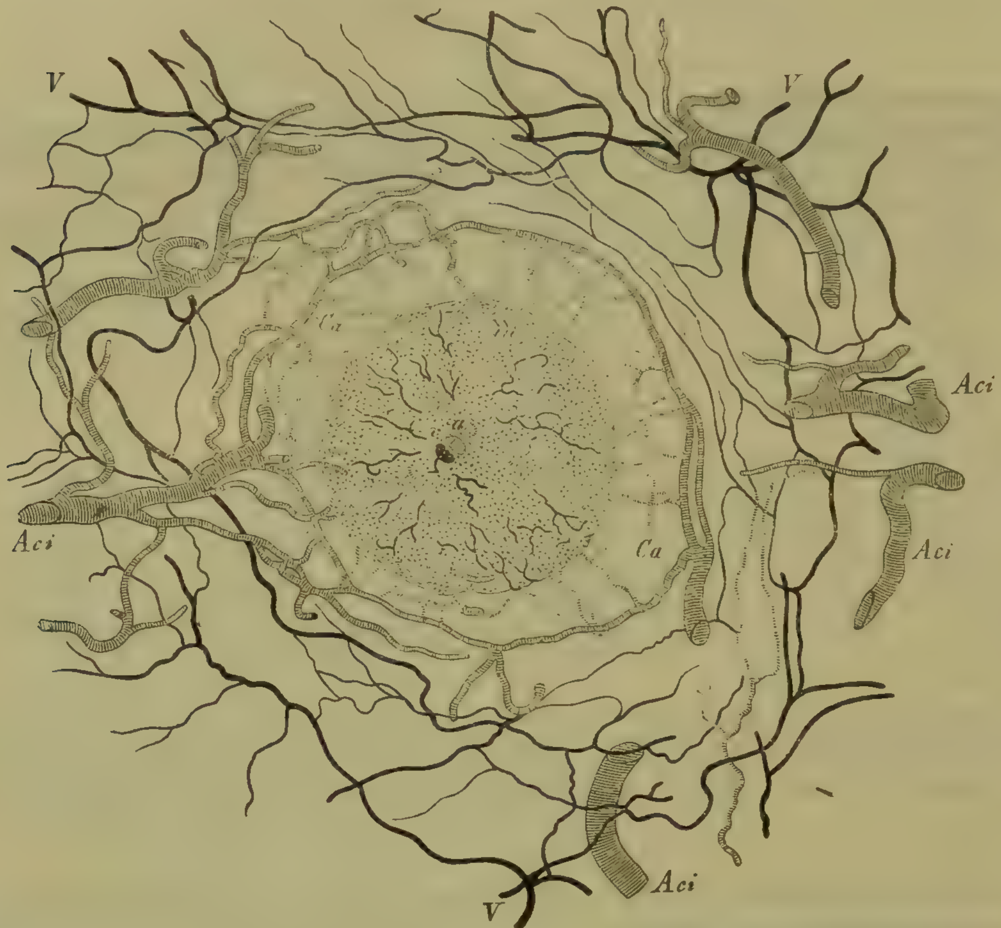
Züge verbundenen Balken werden hier feiner und mehr verzweigt und zeigen sich von einem Netz von dünneren, quer verlaufenden Zügen durchflochten, welche theils von der Choroidea, theils von der Sklera aus in den Nerven einstrahlen und wiederum Träger von Gefässen (den zum Sehnerveneintritt gehenden Zweigchen der Ciliargefässe) sind. Ganz entsprechend zeigt das Gefässnetz der *Lamina cribrosa* viel dichtere, quer verlaufende Maschen feiner Gefässe, während, nach innen davon, das intraoculare Sehnervenende ein aus mehr rundlichen Maschen gebildetes und weniger dichtes Gefässnetz besitzt.

§ 4. Die Eintrittsstelle des Sehnerven, d. h. sein intraskleraler Theil, die *Lamina cribrosa* und die *Papilla n. opt.* erhalten ausser ihren Zweigen von den Centralgefässen solche von den Ciliargefässen, welche hier, wo die Sehnervenscheide in die Sklera übergeht, gewissermassen an die Stelle der Scheidengefässe treten. Durch dieselben entsteht eine Verbindung zwischen dem Ciliar- und dem Netzhautgefässsystem und zwar eine doppelte, eine mittelbare und eine unmittelbare.

Die erstere kommt zu Stande durch den von Zinn entdeckten hintern Skleralgefässkranz (vielleicht am besten *Circ. arteriosus n. optici* zu benennen): 2—3 (nach E. v. Jäger auch 4 und mehrere) kleine Stämmchen der

kurzen hinteren Ciliararterien treten in der Nähe des Sehnerven, meistens medial- und lateralwärts von ihm zur Sklera hin und bilden in der letzteren mit ihren Aesten einen rings geschlossenen Kranz, welcher den Sehnerven in geringem Abstande umgiebt. Von diesem Kranze gehen einerseits (wie bei den übri-

Fig. 3.



Circul. art. nerv. opt. Flächenpräparat. Sehnerveneintritt und umgebende Sklera injicirt und durchsichtig gemacht, Aderhaut und Netzhaut entfernt. Arterien quer gestreift, Venen dunkel. *Aci* Aa. cil. post. brev. *V* Ven. cil. *Ca* Circ. art. nerv. opt. *a* Centralarterie. *v* Centralvene.

gen kurzen Ciliararterien) zahlreiche Aeste zur Choroidea, andererseits eben so zahlreiche nach innen zum Sehnerven und zu dessen Scheide. Letztere entsprechen in ihrem Verhalten ganz den Gefässen der inneren Sehnervenscheide mit denen sie auch durch nach rückwärts gehende Ausläufer zusammenhängen.

Venen, deren Verlauf dem der eben beschriebenen Arterien entspräche, habe ich ebensowenig auffinden können, als frühere Beobachter. Auch spricht gegen ihr Vorkommen der Umstand, dass in der Nähe des Sehnerven gar keine Venen aus der Aderhaut durch die Sklera nach Aussen gelangen. Die feinen Venen auf der Oberfläche der Sklera hängen zwar mit dem Venennetz der äusseren Sehnervenscheide zusammen, aber gerade in der Nähe des Sehnerveneintritts scheinen auch die Verbindungen des letzteren mit den Venen der inneren Scheide nur spärlich vorzukommen.

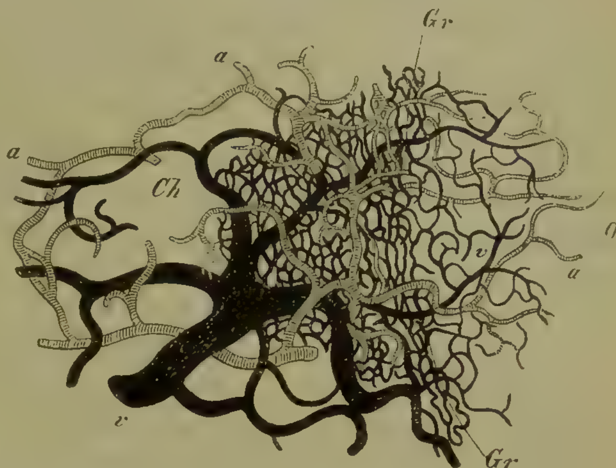
Anders verhält es sich mit der unmittelbaren Verbindung zwischen den Gefässen der Choroidea und des Sehnerven. Zahlreiche kleine

Gefässe, sowohl Venen als Arterien, treten aus dem Aderhautrand in den Sehnervenquerschnitt ein und es setzt sich selbst das feine Capillarnetz der Choroidea unmittelbar in das weitmaschigere, die Nervenbündel umstrickende Gefässnetz des intraocularen Sehnervenendes fort.

Nach dem Gesagten scheint die venöse Gefässverbindung viel unbedeutender zu sein, als die arterielle.

Die von dem Zinn'schen Arterienkranz und die von der Choroidea abgegebenen kleinen Gefässe verlaufen 1) nach rückwärts zur Sehnervenscheide, in deren Gefässnetz sie übergehen, so dass das letztere sich ununterbrochen in das *Foramen sklerae* hinein bis zur *Lamina cribrosa* erstreckt, wo die innere Scheide aufhört; 2) treten sie gerade nach innen zu dem im *Foramen sklerae* eingeschlossenen Theil des Opticus und besonders zur *Lamina cribrosa*; endlich 3) betheiligen sie sich an der Vascularisation der *Papilla n. opt.* und selbst des unmittelbar angrenzenden Bezirks der Netzhaut. Doch scheint es, dass gewöhnlich nur feine Ausläufer bis in die Netzhaut hinein gelangen und sich nur wenig über den Rand der Papille hinüber erstrecken, so dass sie wohl für die Augenspiegeluntersuchung nicht sichtbar sind. Dass aber auch etwas grössere Gefässe aus dem Skleralrande bis in die Netzhaut gelangen können, geht aus einer Beobachtung von H. Müller hervor. Die meist feinen Gefässe, welche man ophthalmoscopisch zuweilen ganz isolirt nahe dem Rande der Papille hervorkommen sieht, können ebenso gut Aeste der Centralgefässe sein, welche sich schon weiter rückwärts im Sehnerven abgezweigt haben, als Ausläufer der Ciliargefässe. Donders sah dieselben schon im Opticusstamm gesondert verlaufen, so dass es ihm schien, als ob sie nicht von den Centralgefässen entspringen; er spricht sich aber über ihren wahren Ursprung nicht bestimmt aus. Sehr selten und immer nur in der Nähe der Papille sieht man ophthalmoscopisch ein Gefäss aus dem Randtheil der Aderhaut zur Netzhaut gelangen. Weiter vom Sehnervenrande entfernt hat man Verbindungen zwischen Aderhaut- und Netzhautgefässen nur in einzelnen pathologischen Fällen beobachtet.

Fig. 4.



Zusammenhang zwischen den Gefässen der Aderhaut und des Sehnerven. Stück eines Flächenschnittes durch den Sehnerveneintritt mit dem entsprechenden Theil der Choroidea. Capillarnetz der letzteren nur theilweise ausgeführt. Arterien hell, Venen und Capillaren dunkel. *O* Opticus. *Ch* Choroidea. *Gr* Grenze zwischen beiden. *a* Arterien. *v* Venen.

Der Sehnervenstamm wird also in der Nähe des Auges gemeinschaftlich von den Central- und Scheidengefässen, das intraoculare Sehnervenende von den ersteren und den Ciliargefässen versorgt. Die beiderseitigen Zweige lösen sich in dem Gefässnetz des Opticus auf und hängen durch dasselbe zusammen. Ob zwischen beiden Anastomosen von mehr als capillarem Kaliber vorkommen, ist

noch nicht direct untersucht, jedenfalls könnten dieselben aber nur sehr fein sein, weil die Gefässe selbst den Capillaren schon sehr nahe stehen.

Ausser dem soeben beschriebenen Zusammenhang zwischen Netzhaut- und Ciliargefässsystem an der Eintrittsstelle des Sehnerven sind beide vollkommen getrennt und namentlich kommen am vordern Ende der Netzhaut, an der *Ora serrata*, keine Verbindungen zwischen ihnen vor.

Die Gefässe der Netzhaut.

§ 5. *A.* und *V. centr. ret.* verlaufen in der Axe des Nerven bis zur Oberfläche der Papille und theilen sich hier oder schon etwas vorher in ihre beiden ersten, nach oben und unten auseinander weichenden Aeste (*A.* u. *V. papillaris sup.* und *inf.* Magnus). An der Vene erfolgt die Theilung meistens etwas früher, als

Fig. 5.



Netzhautgefässe nach E. Jäger's Augenspiegelzeichnung. *ans* Art. nas. sup. *ani* A. nas. inf. *ats*, *ati* A. temp. sup. und inf. *vns*, *vni* Ven. nas. sup. und inf. *vts*, *vti* Ven. temp. sup. und inf. *ame*, *vme* Art. u. Ven. median. *am*, *vm* Art. u. Ven. macularis.

an der Arterie und es kommt daher die erstere gewöhnlich schon in zwei Aeste getheilt an der Oberfläche der Papille zum Vorschein, während die Arterie öfter noch ein Stückchen des gemeinschaftlichen Stammes aufweist. Die Arterie hat etwa $^2/_3$—$^3/_4$ des Durchmessers der Vene, welches Verhältniss auch bei den einander entsprechenden weiteren Verzweigungen, die sämmtlich durch dichotomische Theilung entstehen, erhalten bleibt. Die zweite Theilung geschieht gewöhnlich

auf der Papille, seltener schon im Stamm des Opticus (wieder bei den Venen häufiger, als bei den Arterien), wo alsdann 3 oder 4 getrennte venöse oder arterielle Aeste auf der Oberfläche der Papille zum Vorschein kommen; noch seltener erst am Rande der Papille oder in der Netzhaut. Die Arterien verlaufen im Allgemeinen etwas gestreckter, die Venen mehr geschlängelt, wobei sie sich nicht selten überkreuzen, indem gewöhnlich die Arterie den längern Weg der Vene abschneidet. Doch kommen auch Ausnahmen von dieser Regel vor.

Durch die zweite Theilung entstehen oben und unten je zwei medial- und temporalwärts auseinander weichende Aeste (*A.* und *V. nasalis* und *temporalis sup.* und *inf.* MAGNUS). Die nasalen Aeste sind etwas schwächer als die temporalen und verlaufen in radiärer Richtung nach dem vorderen Ende der Netzhaut; gewöhnlich kommt ausser ihnen noch ein in horizontaler Richtung nasalwärts verlaufender Ast vor (*A.* und *V. mediana* MAGNUS), welcher von einem der beiden Hauptäste abgegeben wird oder als solcher in der Papille zum Vorschein kommt.

Die temporalen Aeste verlaufen nicht direct nach vorn, sondern umkreisen die *Macula lutea* in Bogen, deren Concavität der letzteren zugekehrt ist, wobei sie ihr von verschiedenen Seiten her feine Zweige zuschicken. Aehnliche feine Zweigchen, gewöhnlich 2 an Zahl, kommen von der Papille her (*A.* und *V. macularis sup.* und *inf. M.*); sie treten gewöhnlich selbstständig in der Papille auf, seltener entstehen sie aus einem der gröberen Aeste.

Von dem hier gegebenen Schema kommen übrigens zahlreiche Abweichungen vor; niemals aber verläuft ein grösseres Gefäss über die Macula hinüber, wovon nur eine von MAUTHNER beobachtete Ausnahme vorzuliegen scheint. Die feinen Gefässe der Macula lösen sich nach der *Fovea centralis* zu in Capillaren auf und endigen am Rande derselben mit einem Kranz von capillaren Schlingen. (Man kann sich hiervon auch an seinen eigenen Augen durch die entoptische Beobachtung der Aderfigur deutlich überzeugen.) Die *Fovea centralis* ist also vollkommen gefässlos.

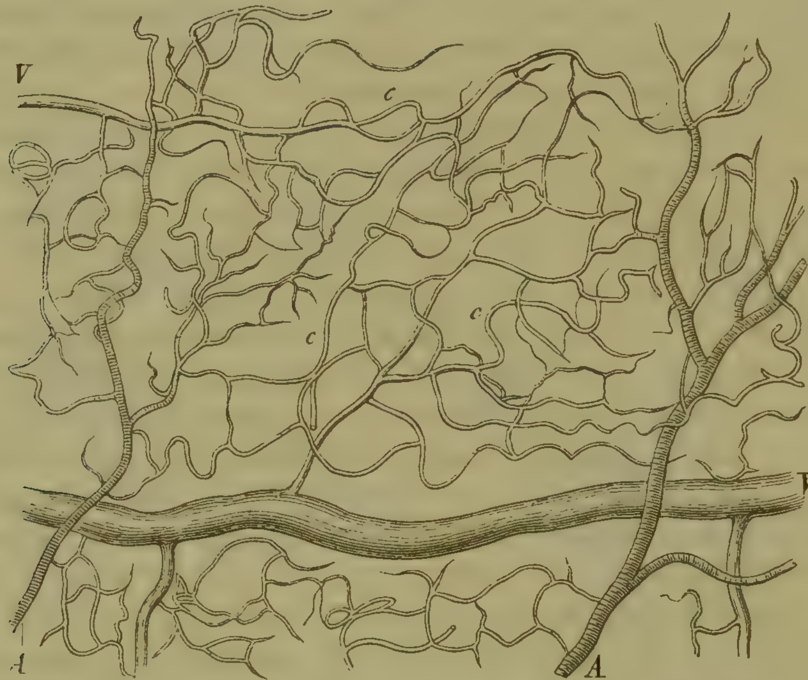
Die gröberen Aeste verlaufen alle in der Faserschicht der Netzhaut und zwar grösstentheils dicht unter der *Limitans interna*; sie bedingen eine merkliche Zunahme der Dicke der Netzhaut, so dass die Limitans auf dem Durchschnitt hügelartig emporgehoben erscheint. Die feineren Verzweigungen dringen in die mittleren Schichten, bis zur Zwischenkörnerschicht (äusseren granulirten Schicht) hinein; je weiter nach aussen, um so feiner werden die Gefässe. Stäbchenschicht und äussere Körnerschicht sind völlig gefässlos (H. MÜLLER). Hiermit steht im Einklang, dass, wie oben angegeben wurde, die *Fovea centralis*, an welcher sämmtliche Schichten mit Ausnahme der Stäbchenschicht stark reducirt sind, ebenfalls keine Gefässe besitzt.

Die Netzhautarterien gehen nirgends Anastomosen unter einander ein, weder die gröberen, ophthalmoscopisch sichtbaren, noch die feineren Verzweigungen; sie hängen nur durch das Capillarnetz unter einander zusammen. Dagegen kommen an der *Ora serrata* einzelne Anastomosen zwischen den feineren Venen vor, an einer Stelle, welche ihrer peripheren Lage wegen der Augenspiegeluntersuchung wohl nicht mehr zugänglich ist. Dass Verbindungen stärkerer Venen beim Menschen nicht vorkommen, lässt sich schon aus der ophthalmoscopischen Untersuchung erkennen, welche alle Gefässe bis zu bedeutender Feinheit nach der Peripherie zu verfolgen gestattet. Es findet sich auch keines-

wegs wie beim Ochsen ein regelmässiger terminaler Venenkranz, sondern nur einzelne Verbindungen den Capillaren nahe stehender Venen.

Soviel ich an nicht injicirten, mit Kalilösung aufgehellten menschlichen Netzhäuten erkennen konnte, treten als äusserste Gefässe meistens flache capillare Bogen auf, zwischen denen und der *Ora serrata* noch ein schmaler Saum von Gefässen frei bleibt. Die Enden der Venen biegen in der Nähe der *Ora serrata* in eine mehr circuläre Richtung um und nehmen hauptsächlich von hinten her ihre Capillaren auf. Stellenweise kommt dann auch eine dieser Venen terminal zu liegen; einige gehen nach längerem circulärem Verlauf mit andern ähnlich verlaufenden Verbindungen ein. Die letzten Enden der Arterien bleiben etwas weiter zurück und lösen sich baumförmig in Capillaren auf, ohne eine circuläre Richtung anzunehmen.

Fig. 6.



Capillarnetz der Retina vom Menschen. *A* Arterie. *V* Venen. *cc* Capillaren.

Das Capillarnetz der Retina ist ziemlich weitmaschig, die Maschen rundlich oder unregelmässig, die Capillaren selbst sehr fein und dünnwandig. Die Verzweigung der Gefässe hat grosse Aehnlichkeit mit der der Centralorgane des Nervensystems. An einer mit Berlinerblauglycerin injicirten menschlichen Retina fand ich die Capillaren 0,005—0,006 Mm. weit, manche auch bis 0,01 Mm.; die Weite der Maschen betrug 0,02—0,075 Mm.

Die Netzhautgefässe entwickeln sich nach H. Müller erst spät, indem sie von aussen her in die Netzhaut hineinsprossen. Bei menschlichen Embryonen von 8½ Cm. Länge ist die Retina noch ganz gefässlos; die Gefässe erreichen aber die *Ora serrata* lange vor der Geburt, bei manchen Thieren (z. B. beim Hund) erst später, wie es scheint übereinstimmend mit dem früheren oder späteren Schwund der Pupillarmembran; bei manchen Thieren endlich bleibt die Retina theilweise oder ganz gefässlos.

Die *A. centr. ret.* entsteht aus einer Gefässanlage, die von den Kopfplatten aus von unten her in die Augenblasenspalte und die rinnenförmige Anlage des Opticus hineinwächst. Der letztere Theil wird zur Centralarterie, der erstere zur *Art. hyaloidea* (Kessler).

Die nur in der fötalen Periode vorkommende *A. hyaloidea* oder *A. capsularis* ist ein Ast der *A. centr. ret.*, welcher auf der Sehnervenpapille entspringt, durch einen Kanal im Glaskörper (*Canalis hyaloideus*) sich nach vorn zur Hinterfläche der Linse begiebt und diese mit Gefässen überzieht. Beim Neugebornen ist sie schon vollständig zurückgebildet und nur in seltenen Fällen bleibt sie während des extrauterinen Lebens, und dann meist in obliterirtem Zustande, erhalten. Beim Kalb findet man regelmässig noch einen Rest der Arterie, selbst auf einige Millimeter mit Blut gefüllt; beim Ochsen ist an der Eintrittsstelle des Sehnerven ein weisslicher zapfenartiger Vorsprung zu finden, der in den Glaskörper hineinragt und oft noch eine fadenförmige Verlängerung zeigt (H. Müller). Der *Canalis hyaloideus* existirt auch beim erwachsenen Menschen und Säugethier (J. Stilling).

Die Verzweigungen der *A. capsularis* überziehen beim Fötus nicht nur die hintere Linsenkapsel, sondern biegen auch auf die vordere Fläche um und gehen in das Gefässnetz der ***Membrana capsulo-pupillaris*** und ***pupillaris*** über (Henle). Die letztere Membran steht ausserdem in der Gegend des kleinen Iriskranzes mit den Gefässen der Iris in Verbindung.

Nach J. Arnold sind indessen (nach Untersuchungen am Rindsfötus) in der ersten Zeit die Gefässe des vorderen Theiles der Linsenkapsel von denen des hinteren Theiles getrennt. Der ursprünglich ein Ganzes bildende Sack der gefässhaltigen Linsenkapsel entsteht, wie schon Kölliker annahm, nach Lieberkühn, Zernoff und J. Arnold dadurch, dass mit dem Hornblatt bei der Linsenbildung auch eine Cutislage mit eingestülpt wird, welche sich zu einem rings geschlossenen Sacke umwandelt. Dieser wird in seinem vorderen Abschnitte, wo er mit dem Gewebe der Kopfplatten zusammenhängt, von letzteren direct vascularisirt, während sich zu der hinteren Hälfte die *A. capsularis* begiebt, die gleichfalls von den Kopfplatten aus in das Innere des Auges hineinwächst. Erst später verbreiten sich die Gefässe von der hinteren Kapsel aus über den Aequatorialrand der Linse nach der vorderen Fläche und verbinden sich mit den hier befindlichen.

Ueber die der ***A. capsularis*** entsprechenden Venen sind die Angaben verschieden. Manche Autoren läugnen ihre Existenz oder konnten sie nicht nachweisen. Sie nehmen an, dass der Abfluss des Venenblutes aus dem Capillargebiet der *A. capsularis* gleich anfangs nach vorn stattfinde, durch die Verbindungen der *Membrana pupillaris* mit der fötalen Choroidea, was später auch unzweifelhaft richtig ist. Da aber nach J. Arnold die Verzweigungen der *A. capsularis* anfangs auf die hintere Kapsel beschränkt sind, so muss wenigstens um diese Zeit auch ein Abfluss nach rückwärts stattfinden. Nach Richiardi existiren in der That in der ersten Zeit 4—8 venöse Gefässchen im Glaskörper, welche die *A. capsularis* umgeben und in die *Vena centr. retinae* einmünden. Sie entstehen aus schlingenförmigen Umbiegungen der Gefässe am Aequatorialrande der Linse, welche in geschlängelte, reichlich anastomosirende Venen im vorderen Theil des Glaskörpers übergehen und sich allmälig zu jenen 4—8 Aesten vereinigen. Am Rande der Linse nehmen die erwähnten Gefässschlingen auch feine Gefässe aus der *Membr. capsulo-pupillaris* auf. Sie erhalten sich also auch noch, nachdem schon Gefässverbindungen mit der vorderen Kapel hergestellt sind. Eine directe Verbindung zwischen den Gefässen der Netzhaut und denen der Linsenkapsel und des Glaskörpers oder der Choroidea findet (nach H. Müller) auch in der fötalen Periode niemals statt.

Bei manchen Säugethieren, z. B. beim Ochsen, kommt an der *Ora serrata* ein nicht vollständig geschlossener terminaler Kranz von venösen Anastomosen vor, ***Circulus venosus retinae anterior***, der an seinem hinteren, nach dem Sehnerveneintritt gekehrten Rand die Capillaren des vordersten Theiles der Retina aufnimmt.

Bei anderen Säugethieren bleibt auch nach der Geburt ein grosser Theil der Retina ganz gefässlos. So z. B. besitzt das Kaninchen Gefässe nur in einem kleinen, an die Papille grenzenden, durch markhaltige Sehnervenfasern ausgezeich-

neten Bezirk, der zwei flügelförmige Figuren zu beiden Seiten der Papille darstellt. Beim Meerschweinchen erscheint mit dem Augenspiegel die Netzhaut gefässlos und nur zuweilen bemerkt man auf der Papille feine Gefässchen, die sich nicht über ihren Rand hinüber verfolgen lassen. Beim Pferd findet sich nach H. Müller nur ein 3—6 Mm. breiter Kranz von Capillarschlingen um die Eintrittsstelle des Sehnerven herum, der noch an einer Seite tief eingekerbt ist. Beim Gürtelthier finden sich an der Eintrittsstelle nur einige feine Gefässschlingen; ähnlich scheint es sich bei Myrmecophaga zu verhalten (G. Pouchet und Verf.).

Bei allen anderen Vertebraten, mit Ausnahme der Säugethiere, ist die Netzhaut selbst völlig gefässlos (H. Müller, Hyrtl). Bei Vögeln werden die Netzhautgefässe ersetzt durch ein eigenthümliches Gebilde, den gefässhaltigen Kamm, dessen Entstehung auf dieselbe Anlage zurückzuführen ist. Ebenso verhält es sich auch bei manchen Reptilien (Chamäleon). Bei Fischen und Amphibien findet sich häufig, jedoch nicht constant, als Ersatz der Netzhautgefässe, ein Gefässnetz in der Hyaloidea, das ebenfalls als den Netzhautgefässen homolog angesehen werden muss. Nur die Retina des Aales macht nach W. Krause eine Ausnahme, indem ihre inneren Schichten bis zur inneren Körnerschicht zahlreiche Blutgefässe enthalten. Beim Frosch kann man die Gefässe der Hyaloidea bis zu den Capillaren sehr gut mit dem Augenspiegel sehen und selbst den Blutkreislauf darin beobachten. Die Gefässe kommen nicht aus der Eintrittsstelle des Sehnerven hervor; die Vene verläuft von unten her nach oben gerade über die Papille hinüber; die feinere und ophthalmoscopisch schwerer sichtbare Arterie tritt etwas hinter der Insertion des *Rect. sup.* ins Innere des Auges ein (Cuignet, R. Berlin).

Das Ciliar- oder Aderhautgefässsystem.

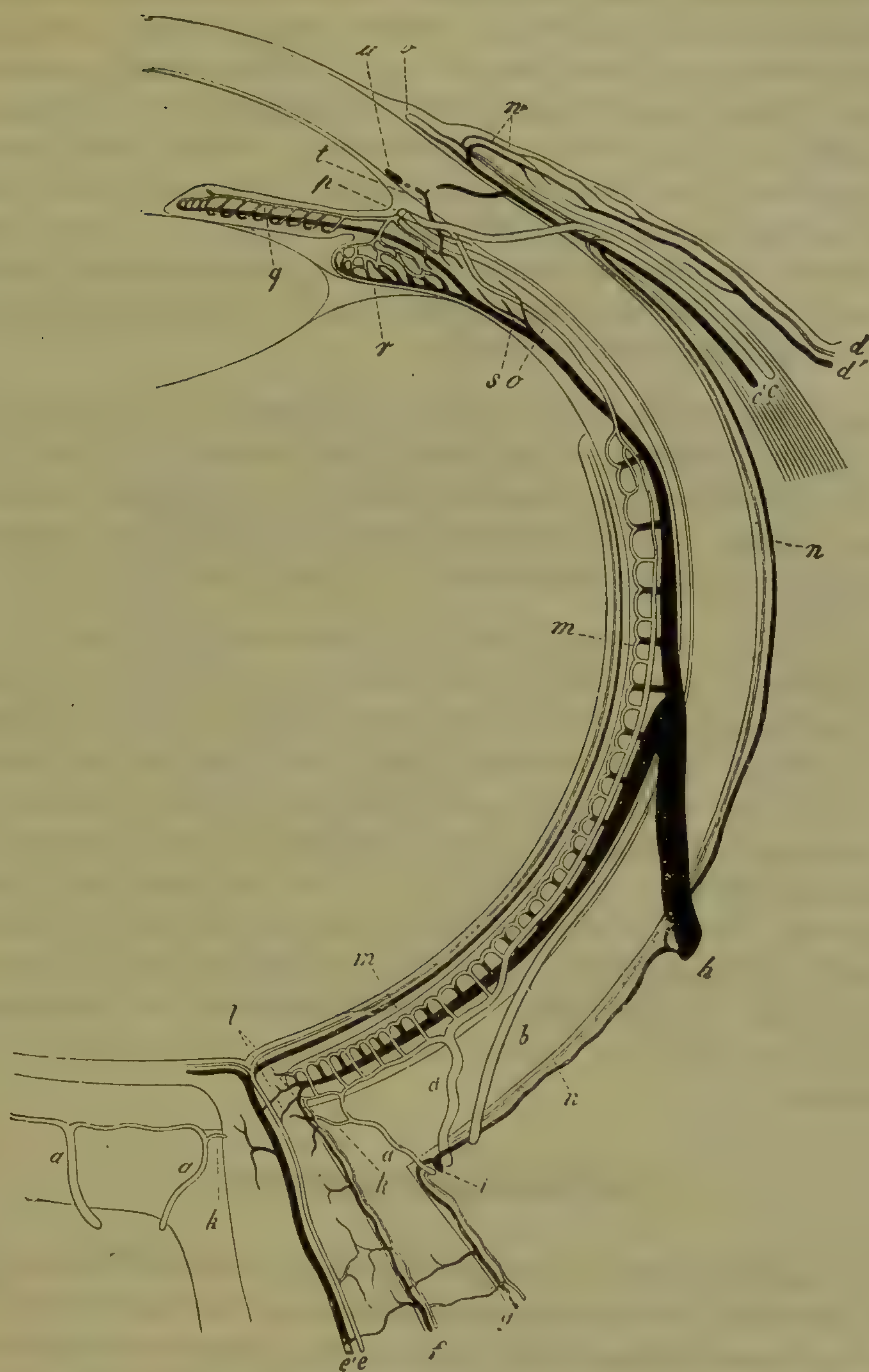
§ 6. Der gesammte Aderhauttractus — Choroidea, Ciliarkörper und Iris — die Sklera mit dem Hornhautrande und der zunächst an letzteren grenzende Theil der Skleralbindehaut werden von den Ciliargefässen versorgt. Es sind dies folgende:

a) Arterien.

1. Die kurzen hinteren Ciliararterien, *Aa. cil. post. brev.*, 4—6 kleine Stämmchen, die aus der *A. ophthalmica* oder ihren ersten Aesten entstehen. Sie theilen sich, während sie dem Stamme des Opticus folgen, in eine grössere Anzahl von Zweigen, welche (einige 20 an Zahl) die Sklera in ihrem hintern Abschnitte in ziemlich gerader Richtung von aussen nach innen durchbohren Fig. 7, a. Die zahlreichsten und stärksten derselben treten nach Abgabe feiner Zweigchen für die Sklera in der Gegend des hintern Pols des Auges ein, eine geringere Anzahl medialwärts von der Insertion des Opticus und in seiner näheren Umgebung. Die letzteren sind feineren Kalibers; einige derselben geben die schon erwähnten Aeste zum Sehnerveneintritt ab.

2. Die langen hinteren Ciliararterien, *Aa. cil. post. long.* Ihr Ursprung ist derselbe, wie bei den kurzen Ciliararterien; sie durchbohren, 2 an Zahl, die Sklera etwas weiter nach vorn als die letzteren, im horizontalen Meridian des Auges, die eine an der medialen, die andere an der lateralen Seite. Ihr Durchtritt durch die Sklera geschieht in sehr schiefer Richtung, so dass die Arterie einen bis 4 Mm. langen Canal innerhalb der Sklera durchläuft (Fig. 7, b).

Fig. 7.



Schematische Uebersicht über den Gefässverlauf im Auge.

3. Die vorderen Ciliararterien, *Aa. cil. antic.*, sind keine directen Aeste der *A. ophthalm.*, sondern werden von den Arterien der 4 geraden Augenmuskeln abgegeben, aus deren Sehnen sie zur Sklera hintreten. Meist entstehen aus jedem Muskel 2 Arterien, vom *Rect. ext.* in der Regel nur eine. Sie durchbohren, nach Abgabe feiner oberflächlicher Zweige (zu Sklera, Cornealrand und Bindehaut) mit ihren perforirenden Aesten die Sklera nicht weit vom Hornhautrande. (Fig. 7, c.)

b) Die Venen des Ciliargefässsystems sind

1. die *Vv. cil. posticae* oder *Vv. vorticosae*, meistens 4 Stämmchen, welche entweder direct in die Vena ophth. oder in Muskeläste einmünden. Sie treten etwas hinter dem Aequator zur Sklera hin und zwar gewöhnlich sowohl oben als unten je eine auf der lateralen und medialen Seite, nehmen von der Oberfläche der Sklera feine Zweigchen auf und durchbohren die letztere in eben so schiefer Richtung wie die langen Ciliararterien. Häufig theilen sich eine oder einige von ihnen vor dem Eintritt in die Sklera, wodurch die Zahl der in diese eintretenden Gefässe auf 6 oder mehr steigt. (Fig. 7, h.) Auch während des Durchtritts durch die Sklera und gleich nachher kommen öfters Theilungen vor; es gehen deshalb in die Choroidea ausser den 4—6 grösseren meist noch eine wechselnde Anzahl kleinerer Gefässe über.

2. Kleine Aeste zur Sklera, welche mit den kurzen hinteren Ciliararterien in der Umgebung des Sehnerven zur Sklera sich begeben (*Venulae cil. post. breves*). Sie entsprechen nur den Skleralzweigen der kurzen Ciliararterien und nehmen keine Zuflüsse aus der Aderhaut auf, sind daher viel weniger zahlreich und sehr viel feiner als die entsprechenden Arterien. (Fig. 7, *i.*)

3. Die *Vv. cil. ant.* sind, wie die gleichnamigen Arterien, Aeste der Venen der geraden Augenmuskeln, aber feiner als die entsprechenden Arterien, weil das Verästelungsgebiet ihrer perforirenden Zweige ein viel beschränkteres ist; während nämlich die perforirenden Zweige der Arterien gemeinschaftlich mit den langen Ciliararterien die Iris, den Ciliarkörper und den vordersten Theil der Choroidea versorgen, nehmen die entsprechenden Venen nur aus dem Ciliarmuskel allein ihre Zuflüsse auf. (Fig 7 *c'*, *l.*) So erklärt es sich, dass die vorderen Ciliarvenen, abweichend von dem sonstigen Verhalten der Venen, geringeren und nicht stärkeren Kalibers sind, als die zugehörigen Arterien. Ueberhaupt entsprechen die Venen des Ciliargefässsystems den Arterien weder in Bezug auf die Zahl und den Verlauf der Stämme, noch auf die Art und Weise ihrer Verästelung.

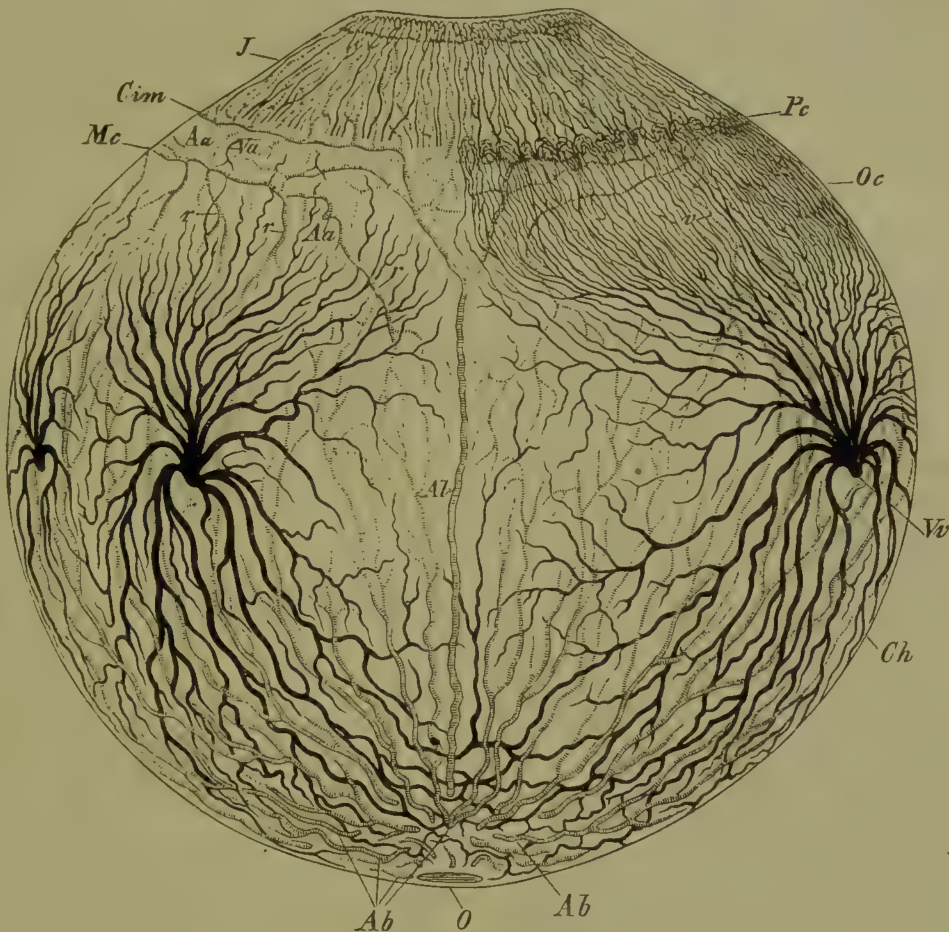
B. Die Gefässe der Aderhaut.

§ 7. Die durch die Sklera hindurchtretenden Aeste der Ciliargefässe lösen sich in der Aderhaut in ein ungemein reiches und verwickeltes Gefässnetz auf, welches in den verschiedenen Abschnitten des Uvealtractus wieder einen ganz verschiedenen Charakter darbietet. Wie schon bemerkt, entsprechen sich die Arterien und Venen keineswegs. In Bezug auf den arteriellen Zufluss lässt sich der Uvealtractus in zwei ziemlich getrennte Gebiete abtheilen: das erstere, gebildet von der eigentlichen Choroidea, erhält sein Blut durch die kurzen hinteren Ciliararterien; das zweite, bestehend aus Ciliarkörper und Iris, wird versorgt von den langen hinteren und den vorderen Ciliararterien. Der vorderste Theil der Choroidea erhält noch eine Anzahl rücklaufender Zweige aus dem vorderen Gebiete, welche mit denen des hinteren anastomosiren.

Anders verhält es sich mit dem venösen Abfluss: der grösste Theil des Venenblutes der gesammten Aderhaut (Choroidea, *Corpus ciliare*

und Iris) hat einen gemeinschaftlichen Abfluss durch die *Venae vorticosae*, und nur ein sehr kleiner Theil desselben, ein Theil des Blutes aus dem Ciliarmuskel ergiesst sich nach aussen durch

Fig. 8.



Halbschematische Darstellung des Gefässverlaufs im Aderhauttractus. Auf der linken Seite werden die Ciliarfortsätze vom Ciliarmuskel verdeckt, auf der rechten ist der Muskel fortgenommen, um die Ciliarfortsätze hervortreten zu lassen. *I* Iris. *Mc* Musc. ciliaris. *Pc* Processus cil. *Oc* Orbiculus ciliaris. *Ch* Choroidea. *O* Opticuseintritt. *Ab* Aa. cil. brev. *Al* A. cil. long. *Aa* Art. cil. ant. *Cim* Circ. art. irid. maj. *Vv* Ven. vorticos. *Va* Ven. cil. ant. *rr* Aa. recurrentes der Choroidea.

die vorderen Ciliarvenen, weshalb dieser vordere Abfluss an Mächtigkeit weit hinter dem andern zurücksteht.

Arterien der Choroidea.

§ 8. Die perforirenden Aeste der kurzen Ciliararterien liegen im hintersten Abschnitte der Choroidea anfangs in der obersten Schicht dieser Membran, von dem lockeren, meist dunkler pigmentirten Gewebe der Suprachoroidea eingehüllt. Während ihres Verlaufes nach vorn machen sie erst einige starke Schlängelungen und treten dann allmälig, unter fortwährenden dichotomischen Theilungen in die tieferen Schichten der Aderhaut ein. Ihre feinsten Zweige lösen sich in das gleichmässig die ganze Innenfläche der Choroidea bedeckende

Capillarnetz in der sog. Choriocapillaris auf. Die kleinen Stämmchen haben nur einen kurzen Verästlungsbezirk, während die grösseren zum Theil bis an die Grenze zwischen Choroidea und Ciliarkörper nach vorn reichen. Die nach vorn ziehenden Verzweigungen zeichnen sich vor den Venen durch ihren mehr gestreckten Verlauf aus, und nur ihre feinsten, in Capillaren sich auflösenden Zweigchen pflegen wieder mehr gekrümmt zu sein; die in der Umgebung des Sehnerveneintritts befindlichen Verzweigungen sind dagegen, wie die der Venen stärker geschlängelt und oft eigenthümlich gewunden; dieser Umstand sowie die grosse Zahl der in dieser Gegend vorkommenden Gefässe macht, dass uns an gut injicirten Präparaten hier ein fast unauflösliches Gewirr von feinen Gefässen entgegentritt.

Es hat den Anschein, als ob die Gefässe hier sehr vielfach unter einander anastomosirten, was auch für die Venen zutreffend ist; die arteriellen Anastomosen sind aber, was man besonders an Injectionen ersehen kann, wo die Masse nur bis in die Arterien und Anfänge der Capillaren eingedrungen ist, viel weniger zahlreich; nur die kleineren Arterien in der Umgebung des Sehnerveneintrittes sind häufig durch Anastomosen verbunden; weiter nach vorn werden diese aber so gut wie völlig vermisst und erst nahe dem vorderen Ende der Choroidea treten wieder Anastomosen ihrer Endäste mit den *Aa. recurrentes* und unter einander auf. Ausser den in Capillaren sich auflösenden Aesten kommen nicht, wie früher angenommen wurde, noch andere Aeste vor, welche direct in Venen übergehen (äussere Aeste der kurzen Ciliararterien, Brücke). Auch geben die kurzen Ciliararterien keine Aeste weiter nach vorn zum Ciliarkörper und der Iris ab (vordere Aeste, Brücke), sondern gehen vollständig in dem Capillarnetz der Choroidea auf. Die Annahme solcher Aeste beruht auf einer Verwechselung mit Venen, welche vom Ciliarkörper zu den *Venae vorticosae* verlaufen. Im Gegentheil erhält der vorderste Theil der Choroidea noch eine Anzahl rücklaufender Aeste aus dem Ciliarkörper, von den langen hinteren und vorderen Ciliararterien. Dieselben entspringen im Ciliarkörper, theils aus diesen Gefässen selbst, theils aus den von ihnen erzeugten Gefässkränzen, laufen in wechselnder Zahl und Grösse und in grösseren Abständen zwischen den zahlreichen parallelen Venen des *Orbiculus ciliaris* nach rückwärts, versorgen den vordersten Abschnitt der Choroidea mit Capillaren und anastomosiren mit den Endästen der kurzen hinteren Ciliararterien. Diese Anastomosen sind die einzigen Verbindungen zwischen den Arterien der Choroidea und denen des Ciliarkörpers und der Iris. Die Zahl der *Aa. recurrentes* ist ziemlich wechselnd; ich fand entweder eine geringere Zahl, 10—12 grösserer, oder eine etwas bedeutendere Anzahl kleinerer, die dann in einem der Breite von mehreren Ciliarfortsätzen entsprechenden Abstande nach rückwärts verliefen.

Die oben gemachte Trennung der Aderhaut in ein vorderes und hinteres Gebiet ist also keine vollständige, doch müssen die beiden Gebiete eine gewisse Unabhängigkeit der Circulation von einander haben. Unter Umständen kann wohl durch die Anastomosen der *Rami recurrentes* von den kurzen Ciliararterien dem Ciliarkörper und der Iris Blut zugeführt werden; für gewöhnlich wird dies aber nicht der Fall sein, da die kurzen Ciliararterien nicht einmal die ganze Choroidea zu versorgen im Stande sind; nach der Art und Weise, wie die

Rami recurrentes sich verästeln, muss der Blutstrom in ihnen von vorn nach hinten gerichtet sein.

Dass die von BRÜCKE[1]) angenommenen äusseren Aeste der kurzen Ciliararterien nicht existiren, lässt sich an Injectionspräparaten mit durchsichtigen Farbstoffen (z. B. Berliner Blau) leicht widerlegen, besonders bei doppelter Injection der Arterien und Venen[2]). Die feinsten Arterienzweige gehen alle in das Capillarnetz über, ein sog. falsches Wundernetz kommt also in der Choroidea nicht vor. Zur Annahme eines solchen konnte man bei den früher üblichen opaken Injectionsmassen leicht gelangen, wobei Verlauf und Zusammenhang der Gefässe nur ungenügend untersucht werden können. Zuweilen gelangt die Injectionsmasse durch die Ciliarfortsätze früher in die Venen der Choroidea, noch ehe das Capillarnetz der letzteren gefüllt ist; untersucht man dann nur die Choroidea, so kann man leicht zur Annahme eines unmittelbaren Ueberganges von Arterien in Venen kommen, besonders weil sich beide oft unter sehr spitzen Winkeln überkreuzen. Mit Unrecht habe ich übrigens früher S. TH. SÖMMERING denselben Irrthum zugeschrieben, da aus einer genaueren Durchsicht seiner Arbeit[3]) hervorgeht, dass er nur eine einzige Art des Ueberganges der Arterien in Venen, die durch das Capillarnetz, annimmt.

Auf demselben Mangel der Injectionsmethode beruht die Verwechslung der vom Ciliarkörper zurückkehrenden Venen mit angeblichen zuführenden Arterien, den sog. vorderen Aesten der kurzen Ciliararterien[4]). Ausser den wenig zahlreichen rücklaufenden Arterien kommen im Bereich des glatten Theils des Ciliarkörpers keine weiteren Arterien vor und was dafür gehalten wurde, sind Venen. Die rücklaufenden Arterien wurden schon von A. v. HALLER[5]) und ZINN[6]) beschrieben und abgebildet, aber später, wie es scheint, in allen Beschreibungen und Abbildungen unberücksichtigt gelassen, bis ich dieselben wieder auffand.

§ 9. Das Capillarnetz der Choroidea bedeckt continuirlich ihre ganze innere Fläche vom Sehnerveneintritt bis zur Grenze des nicht gefalteten Theils des Ciliarkörpers, wo es an derselben Stelle wie die eigentliche Netzhaut, an der *Ora serrata* mit einem unregelmässig zackigen Rande aufhört. Da, wo die parallelen Venen des Ciliarkörpers nach zwei Seiten aus einander biegen, um sich zu zwei benachbarten *Venae vorticosae* zu begeben, erstreckt sich zwischen sie noch eine dreieckige Verlängerung des Capillarnetzes in den *Orbiculus ciliaris* hinein. Am Sehnerveneintritt hängt es, wie oben schon erwähnt, mit den Capillaren des Sehnervenquerschnittes zusammen.

---

1) Anat. Beschreibung des menschl. Augapfels. Berlin 1847. S. 14.

2) TH. LEBER, Anat. Untersuchung. über die Blutgefässe des menschl. Auges. Denkschrift. der k. Akad. der Wissensch. zu Wien, math. naturw. Klasse. XXIV. Bd. S. 301—302. Sep.-Abdr. S. 5—6.

——, Untersuchungen über den Verlauf und Zusammenhang der Gefässe im menschl. Auge. Arch. f. Ophth. XI. 1. p. 15—16.

3) S. TH. SÖMMERING, Ueber das feinste Gefässnetz der Aderhaut im Augapfel. Denkschrift. der k. Akad. der Wissensch. zu München. Bd. VII. 1821. Sep.-Abdr. S. 13.

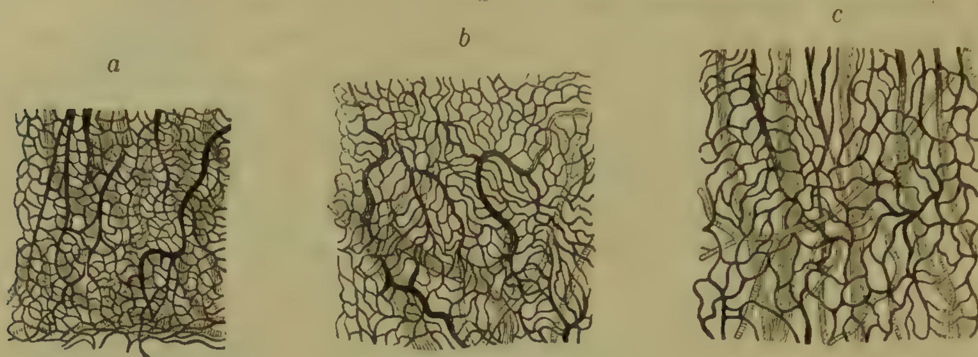
4) BRÜCKE, loc. cit. S. 14.

5) A. v. HALLER, Histor. arter. ocul. Ic. anat. fasc. VII. p. 45. 1754.

6) J. G. ZINN, Descr. anat. oc. hum. alt. v. ed. a Wrisberg. Gotting 1780. p. 39 und Taf. III. Fig. 2. (Aus ZINN's Beschreibung geht übrigens nicht deutlich hervor, ob er, wie HALLER, die rücklaufenden Aeste auch mit den Endästen der kurzen Ciliararterien anastomosiren sah, oder nur die letzteren unter sich.)

Die Maschen des Capillarnetzes sind in der Nähe des Sehnerven unregelmässig rundlich und sehr fein, werden aber, je weiter vom Sehnerven entfernt,

Fig. 9.



Capillarnetz der Choroidea. *a* in der Nähe des Sehnerveneintritts. *b* in der Gegend des Aequator bulbi. *c* in der Nähe des vorderen Endes der Choroidea. Venen längs-, Arterien quergestreift, Capillaren dunkel; die letzteren sind im Holzschnitt durchgehends viel zu fein ausgefallen, etwa um die Hälfte.

um so mehr in die Länge gestreckt. Ihr Längsdurchmesser übertrifft schliesslich den Breitendurchmesser um das 10fache und mehr; auch der Durchmesser der Capillaren nimmt dabei etwas zu. Es erklärt sich hieraus auch die viel grössere Zahl feiner Arterien- und Venenzweigchen im hinteren Theil der Choroidea im Vergleich mit dem vorderen. Die Maschen sind häufig radienartig nach einem arteriellen oder venösen Endästchen hin gerichtet, doch sind die dadurch entstehenden sternförmigen Figuren beim Menschen viel weniger ausgesprochen, als es bei manchen Thieren beobachtet wird.

An einer mit Berlinerblau-Glycerin injicirten (menschl.) Aderhaut erhielt ich folgende Maasse:

Capillaren der Choroidea

	am Opticuseintritt	am Aequator	an d. Ora serr.
Weite d. Capillaren	0,012—0,02	0,01 —0,03	0,01 —0,036
Breite d. Maschen	0,003—0,018	0,006—0,02	0,006—0,036
Länge d. Maschen		0,036—0,11	0,06 —0,4.

Nach S. Th. Sömmering besitzen die verschiedenen Thiere sämmtlich Besonderheiten in der Verästelung des Capillarnetzes. Die Weite der Maschen und die Feinheit der Capillaren stehen dabei in keinem bestimmten Verhältniss zu der Grösse des Auges, indem bei kleinen Augen die Capillaren selbst weiter sein können als bei grossen.

Die Arterien des Ciliarkörpers und der Iris.

§ 10. Die beiden langen hinteren Ciliararterien laufen nach ihrem Durchtritte durch die Sklera an der Aussenfläche der Aderhaut, ohne ihr Aeste zu ertheilen, in horizontaler Richtung, die eine auf der medialen, die andere auf der lateralen Seite, nach vorn zum Ciliarmuskel hin. Hier theilen sie sich in zwei schräg aus einander weichende Aeste, welche in die Substanz des Muskels eindringen und, an seinem vorderen Ende angelangt, ganz in die circuläre Richtung umbiegen, so dass je zwei Aeste beider Arterien einander im Umfange des Auges

entgegenlaufen. Die zwischen den auseinander weichenden Aesten frei bleibende Stelle wird durch quer herüberziehende Verbindungen ausgefüllt und dadurch der Gefässkranz vervollständigt. Es gehen in denselben noch weiter ein die vorderen Ciliararterien, welche den den Ciliarkörper deckenden Theil der Sklera durchbohren, also direct zum Ciliarmuskel gelangen. Hierdurch wird am vorderen Rande des Muskels ein ringsum geschlossener Arterienkranz erzeugt, *Circulus arteriosus iridis major*, welcher besonders die Iris und die Ciliarfortsätze versorgt, während die Arterien des Ciliarmuskels und die *Rami recurrentes* der Choroidea ausser von diesem Kranze auch von den langen und vorderen Ciliararterien direct abgehen.

Die langen Ciliararterien geben nämlich, sobald sie in den Ciliarmuskel eingetreten sind, noch ehe sie den grossen Iriskranz erzeugen, Aeste ab, welche hauptsächlich den Ciliarmuskel und den vordersten Theil der Choroidea versorgen; ebenso auch die vorderen Ciliararterien; dieselben bilden noch einen zweiten, hinter dem *Circul. art. iridis* und etwas mehr in der Tiefe gelegenen, weniger vollständigen Kranz von Anastomosen. (*Circulus arteriosus musculi ciliaris.*)

Bei manchen Thieren, bei welchen die Ciliarfortsätze weiter auf die Hinterfläche der Iris vorgerückt sind, z. B. beim Kaninchen, liegt der *Circ. irid. major* nicht mehr im Ciliarmuskel, sondern in der Iris, in einer kleinen Entfernung von ihrem Ciliarrande. Uebrigens sieht man ihn auch zuweilen beim Menschen stellenweise mit einigen stärkeren Schlängelungen oder mit einem von zwei Gefässen, in welche er mitunter getheilt ist, auf die Iris hinübergreifen.

§ 11. Die Arterien des Ciliarmuskels bestehen aus einer grossen Anzahl feiner Aeste, welche sich baumförmig verzweigen und ein ziemlich dichtes, gitterförmiges Netz erzeugen, das den ganzen Muskel durchzieht und sich in seinem Aussehn sehr wesentlich von dem darüber liegenden Netz der Ciliarfortsätze unterscheidet.

Bei allen Säugethieren, die ich darauf untersuchte, Kaninchen, Hund, Katze, Ochs, Hammel, Ziege kommt im äusseren Theil des Ciliarkörpers ein dem des Menschen ganz ähnliches Capillarnetz vor, an welchem allein schon die Lage und Ausdehnung des Muskels bestimmt werden kann.

§ 12. Die Arterien der Ciliarfortsätze entstehen aus dem *Circ. iridis major*, aus dessen innerem Umfang, oft gemeinschaftlich mit den Arterien der Iris. Ein Ciliarfortsatz erhält entweder eine besondere Arterie, oder eine etwas grössere Arterie versorgt zwei oder mehrere benachbarte Fortsätze zugleich. Die Arterien treten also am vorderen Ende der Fortsätze in dieselben ein und müssen, wie die der Iris, vorher durch den Ciliarmuskel hindurch treten. Sie lösen sich rasch in eine grosse Menge von Zweigen auf, die vielfach unter einander anastomosiren und, sich beträchtlich erweiternd, in die Anfänge der Venen übergehen. Die dünnwandigen capillaren Venen bilden durch reichliche Anastomosen ein sehr entwickeltes Gefässnetz, welches die Hauptmasse der Ciliarfortsätze ausmacht, und ihre zahlreichen grösseren und kleineren blattartigen Hervorragungen und rinnenförmigen Vertiefungen durchzieht.

Der glatte, nicht gefaltete Theil des Ciliarkörpers (*Orbiculus ciliaris* Henle), wird von den rücklaufenden Arterien einfach durchzogen, ohne dass ich arterielle Zweigchen zu dem ihn durchziehenden feinen Gefässnetz abgehen sah.

§ 13. Die Arterien der Iris entspringen als zahlreiche Stämmchen, häufig mit den Arterien der Ciliarfortsätze zusammen, aus dem vorderen Rande des *Circulus iridis* und treten regelmässig an den Ansatzstellen der Ciliarfortsätze in die Iris ein, gewöhnlich mehrere an jedem Fortsatz. Sie verlaufen mit baumförmigen Verästelungen in radiärer Richtung nach dem Pupillarrande hin, wobei ihre Aeste sich zuweilen bogenförmig verbinden. Bei enger Pupille verlaufen sie mehr gestreckt, bei weiter Pupille geschlängelt. Sie haben im Verhältniss zu ihrem Kaliber sehr dicke Wandungen. Während des Lebens sind ihre Verzweigungen an der Vorderfläche der Iris als radiäre und netzförmig verbundene Züge von der Farbe des Irisgewebes sichtbar, nur bei Albinotischen schimmert die Farbe des Blutes durch die Wandungen hindurch. Die dicken Wandungen sind auch ein Hinderniss für die Injection, welche beim Erwachsenen nur schwer gelingt, dagegen leicht bei dem Kinde, wo diese Eigenthümlichkeit noch weniger ausgesprochen ist.

Nicht weit vom Pupillarrande bilden einige arterielle Aeste noch einen, gleich unter der äusseren Oberfläche gelegenen feinen Gefässkranz, *Circ. arterios. irid. minor*. Er bezeichnet die Stelle, wo sich die fötale Pupillarmembran mit der Iris verbindet und entwickelt sich nach F. Arnold vollkommen erst nach dem Verschwinden jener Haut.

Die meisten arteriellen Zweige laufen aber zum Pupillarrande hin, wo sie nach Bildung des Capillarnetzes im *Sphincter pupillae* schon in ziemlicher Feinheit ankommen und schlingenförmig in die Anfänge der Venen umbiegen.

Das Capillarnetz der Iris ist viel weitmaschiger als das der Aderhaut. In der Verlängerung der *Processus ciliares* erstrecken sich auf die hintere Fläche der Iris niedrige leistenartige Vorsprünge von radiärem Verlauf, die nach dem Pupillarrande hin sich allmälig verlieren, und in welche sich auch das Gefässnetz der Ciliarfortsätze aber in weit geringerer Entwickelung fortsetzt. Der *Sphincter pupillae* wird von einem besonderen, feinen Capillarnetze durchzogen. In dem äusserst dünnen Dilatator habe ich keine Blutgefässe gesehen. Beim Kaninchen finde ich neuerdings die vordere Fläche der Iris von einem ziemlich gleichmässigen, lockeren Capillarnetz bedeckt (abgesehen von dem feineren Netz im *Sphincter pupillae*); ob es sich beim Menschen ebenso verhält, kann ich nicht angeben, da ich auf diesen Punct früher nicht hinreichend geachtet habe.

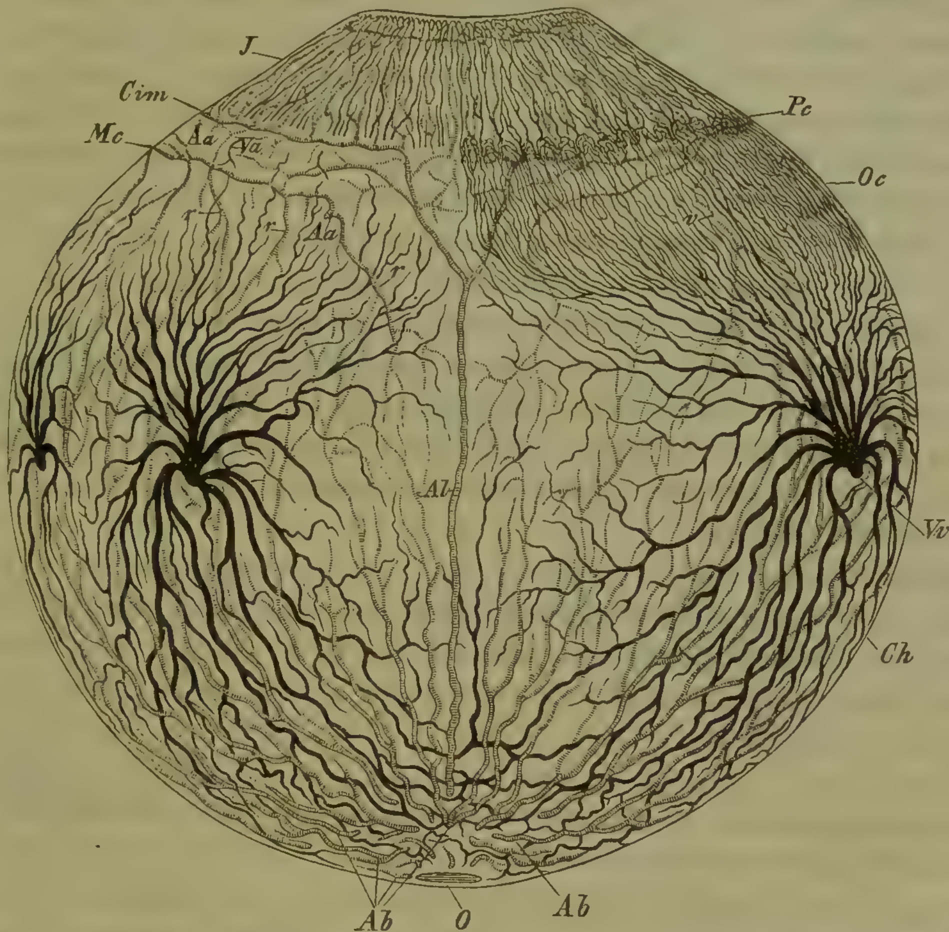
Venen der Choroidea.

§ 14. Die Wirbelvenen, *Venae vorticosae, Vv. cil. posticae*, sammeln das Venenblut aus allen Theilen der Aderhaut, dessen bei weitem bedeutendste Abzugsquelle sie darstellen und treten in der Gegend des Aequators des Auges als 4—6 grössere Gefässe, die meist noch von einer wechselnden Anzahl (1—6) kleinerer begleitet werden, von der Choroidea in die Sklera über.

Im hinteren Abschnitte, in der Gegend, wo die *Aa. cil. post.* eintreten, giebt die Choroidea keine Venen nach aussen ab. Ebenso wenig existiren in der Aderhaut Venen, welche in ihrem Verlauf den langen hinteren Ciliararterien entsprächen.

Die *Venae vorticosae* zerfallen in der Choroidea rasch in eine grosse Menge von radiär ausstrahlenden und bogenförmig gekrümmten Verzweigungen, wo-

Fig. 10.



Uebersicht über die Gefässe des Aderhauttractus. Halbschematische Abbildung.

durch eine zierliche wirbelartige Zeichnung entsteht, welche auch ohne Injection an der Aussenfläche der Choroidea sichtbar ist. In der Gegend des Aequators und etwas nach rückwärts davon, sowie nach vorn bis zur Grenze der Choroidea bilden die Venen die äusserste Gefässschicht, welche sich selbst auf eine gewisse Strecke hin im Zusammenhang ablösen lässt; die tiefere Schicht enthält die feineren Gefässe und Capillaren.

Diese Eigenthümlichkeit war zum Theil die Veranlassung, dass Ruysch[1]) die Choroidea in zwei Membranen zu trennen versuchte, deren innere von seinem Sohn *Membr. Ruyschiana* genannt wurde. Wie sehr Ruysch im Irrthum befangen war, geht daraus hervor, dass er die *Venae vorticosae* für die Arterien der Choroidea hielt, während die hinteren Ciliararterien seiner *Membr. Ruyschiana* zugetheilt blieben. Der Irrthum wurde von Albr. v. Haller[2]) berichtigt, übrigens hatte schon früher Hovius[3]) diese Venen richtig als *Duct. oculor. abducentes* bezeichnet. Mit dem Namen *Membr. Ruyschiana*, der noch längere Zeit fortlebte, wurde später meist die Choriocapillaris bezeichnet.

1) Epist. anat. XIII. de ocul.-tun. Amst. 1737. Thesaur. an. II.
2) Hist. arter. oc. p. 47. 1754.
3) De circ. humor. motu in oculis. Traj. ad Rhen. 1702.

Von den aus dem hinteren Abschnitt der Choroidea kommenden Aesten der Vortices reichen die mittleren, in ziemlich gerader Richtung verlaufend, bis in die nächste Nähe des Sehnerveneintrittes zurück. Je seitlicher die Aeste einmünden, um so weniger weit erstrecken sie sich nach hinten und um so stärker gebogen ist ihr Verlauf. Etwa in der Hälfte des Abstandes zwischen Sehnerv und Austritt der Vene gehen die Aeste zweier benachbarter Vortices quere Verbindungen ein, welche nach vorn offene Schlingen darstellen, sich in wechselnder Zahl und Stärke bis zum Sehnerveneintritt wiederholen und unter einander zusammenhängen. In der Mitte zwischen zwei Vortices verlaufen gewöhnlich einige Venen von vorn nach hinten, welche nicht direct in die ersteren, sondern in die Verbindungsschlingen derselben übergehen.

Die von hinten kommenden Zuflüsse der Vortices verlaufen neben und zwischen den kurzen Ciliararterien, annähernd in derselben Richtung und lassen die letzteren allmälig zwischen sich in die tiefere Schicht der Aderhaut übertreten. Besonders in der Nähe des Sehnerveneintrittes, wo die venösen Anastomosen sehr zahlreich und stark entwickelt sind, müssen die Arterien sich derart durch das Venennetz hindurchdrängen, dass eine gegenseitige Einwirkung der Gefässe nicht unwahrscheinlich ist.

Auch die Zahl der feineren, direct aus Capillaren entstehenden Venen ist im hinteren Theil der Choroidea ungemein gross; sie sind etwas dicker als die Arterien und gleichfalls von stark gewundenem Verlauf. Weiter nach vorn werden sie allmälig weniger zahlreich, entsprechend der geringeren Feinheit des Capillarnetzes.

Die von vorn kommenden Zuflüsse der Wirbelgefässe stammen aus der Iris, den Ciliarfortsätzen, dem Ciliarmuskel und dem vorderen Theil der Choroidea.

Die aus dem Ciliarkörper kommenden zahlreichen parallelen Venen (s. unten) gelangen am vorderen Rande der Choroidea zu ihrer äusseren Fläche und treten nach beiden Seiten auseinander, um schräg zu zwei benachbarten Vortexstämmen hinzulaufen. Sie vereinigen sich dabei zu immer stärkeren Aesten, wobei sie neue Zuflüsse aus der Choroidea aufnehmen. Der zwischen diesen auseinander weichenden Aesten frei bleibende Raum wird nur von Venen durchzogen, die in der Choroidea selbst entstehen; sie beschreiben Bogen mit nach vorn gerichteter Convexität, um dann nach hinten umzubiegen und mit den Vortices sich zu verbinden.

§ 15. Die Venen des Ciliarmuskels sammeln sich aus dem Gefässnetze desselben als zahlreiche feine Stämmchen, welche an der inneren Fläche und dem hinteren Rande des Muskels zu den Venen der Ciliarfortsätze hintreten. Zuweilen begleitet eine derselben eine Strecke weit einen circulär verlaufenden Ast einer langen Ciliararterie, verlässt denselben aber, an der hinteren Grenze des Ciliarmuskels angelangt, um sich mit einer zum Vortex verlaufenden Vene zu verbinden.

Ein kleinerer Theil der Venen des Ciliarmuskels geht an dessen vorderem Ende nach aussen durch die Sklera, hängt mit dem *Circulus venosus corneae* zusammen und mündet in die vorderen Ciliarvenen ein.

§ 16. Die Venen der Ciliarfortsätze treten zu einer grösseren Zahl parallel verlaufender und durch fortlaufende netzförmige Anastomosen verbundener Gefässe zusammen, welche, nach Aufnahme der Irisvenen und der beschriebenen Zuflüsse aus dem Ciliarmuskel, durch den glatten Theil des Ciliarkörpers nach rückwärts verlaufen, sich zu immer gröberen Aesten verbinden und nach dem Uebertritt in die Choroidea die vorderen Zuflüsse der Vortices darstellen.

Aus jedem Ciliarfortsatz kommen immer mehrere Venen, von denen eine, etwas stärkere, in dem freien Rande des Fortsatzes verläuft, andere in den Zwischenräumen derselben. Alle Venen sind durch zahlreiche Anastomosen zu einem continuirlichen Netzwerk mit stark in die Länge gestreckten Maschen verbunden, welches von den Ciliarfortsätzen an durch den *Orbiculus ciliaris* sich fortsetzt und erst an der Grenze der Choroidea in das engmaschigere Capillarnetz dieser übergeht. Das Venennetz des Ciliarkörpers liegt unmittelbar unter der inneren Oberfläche des letzteren und erst am Uebergang in die eigentliche Choroidea wenden sich die aus ihm gesammelten Venen zur äusseren Fläche dieser Membran hin, an welche sie sich während ihres weiteren Verlaufes halten. Es lassen sich sogar die Ciliarfortsätze im Zusammenhang mit einer dünnen Lage des *Orbiculus ciliaris*, welche die fraglichen Venen enthält, von der Innenfläche des Ciliarmuskels ablösen. Es sind dies dieselben Venen, welche früher mit Arterien verwechselt und als vordere Aeste der hinteren Ciliararterien beschrieben worden sind.

Bei vielen Säugethieren (Ochs, Schaf, Pferd, Schwein, Hund, Kaninchen etc.) findet sich an der hinteren Grenze des Ciliarkörpers ein mehrfacher Kranz von Anastomosen zwischen den vorderen Aesten der *Venae vorticosae*, in welchen die aus dem Ciliarkörper kommenden Venen sich einsenken, der *Circulus venosus Hovii*. Derselbe kommt beim Menschen nicht vor. Obwohl von dem *Canalis Fontanae* des Ochsen und dem *Canalis Schlemmii* des Menschen gänzlich verschieden, ist er doch mit beiden verwechselt worden.[1]

§ 17. Die Venen der Iris entstehen aus den Endschlingen der Arterien am Pupillarrande, aus dem feinen Capillarnetz des *Sphincter pupillae* und aus dem weniger feinen Netze, das die übrige Iris durchzieht. Sie verlaufen in radiärer Richtung wie die Arterien und zwar in Büscheln, deren Abstände denen eines oder einiger Ciliarfortsätze entsprechen und anastomosiren vielfach unter einander. Am Ciliarrande der Iris angelangt, treten sie in den Ciliarkörper ein, und wenden sich zu dessen innerer Fläche, um mit den Venen der Ciliarfortsätze vereint in die *Venae vorticosae* überzugehen.

Dagegen sah ich keine Venen der Iris direct nach aussen treten, oder sich mit dem *Circulus venosus ciliaris* verbinden; ebenso wenig konnte ich dieselben in den Ciliarmuskel hinein verfolgen.

Dasselbe hat auch schon E. Brücke[2] angegeben, während Fr. Arnold[3] und Retzius[4] die Venen der Iris mit dem *Circ. venosus* zusammenhängen lassen. Ich bezweifle auch nicht die Möglichkeit, vom *Circ. venosus* aus die Venen der Iris mit Quecksilber zu injiciren, wie

---

1) Vgl. Brücke, anat. Beschr. des menschl. Auges. S. 52—53.
2) Ebda. S. 50.
3) Anat. u. physiol. Unters. über d. Auge. S. 10 ff.
4) Müller's Arch. 1834. S. 292—295.

diese Beobachter angeben, doch geht hieraus ein unmittelbarer Zusammenhang beider nicht hervor, da mittelbare, besonders capillare Verbindungen vorhanden sind. Auch bei der in der letzten Zeit von verschiedenen Beobachtern vorgenommenen genauen histologischen Durchforschung der Sklerocorneal-Grenze und ihrer Umgebung sind niemals von der Iris in die Sklera direct übertretende Gefässe beobachtet worden.

In den früheren Beschreibungen der Aderhautvenen kommen noch *Venae cil. post. breves* und *longae* vor, deren Nichtexistenz in der Aderhaut ich nachgewiesen habe.[1]

Wollte man kurze und lange hintere Ciliarvenen unterscheiden, so müssten die *Venae vorticosae* als lange, und die kleinen, mit den kurzen hinteren Ciliararterien zur Sklera gehenden Zweigchen als kurze hintere Ciliarvenen bezeichnet werden. Da letztere aber sehr unbedeutend sind und keine Zweige zur Aderhaut abgeben, so ist es wohl einfacher, nur vordere und hintere Ciliarvenen zu unterscheiden, wobei mit letzterm Namen die *Venae vorticosae* gemeint wären, während die von mir früher als *Venulae cil. post. breves* bezeichneten feinen Venen der Sklera ohne besondere Bezeichnung bleiben könnten.

Dass die Aderhaut in der Umgebung des Sehnerveneintrittes keine Venen nach aussen abgiebt, sondern nur in der Gegend des *Aequator bulbi*, habe ich an doppelt injicirten Präparaten sicher feststellen können. Wenn auch zuweilen ein inconstantes Venenästchen weiter nach hinten die Sklera durchbohrt, so muss dies als Ausnahme betrachtet werden; jedenfalls haben die kurzen Ciliararterien in der Aderhaut unter den Venen keine Analogie. Die dafür gehaltenen Gefässe sind wahrscheinlich Arterien gewesen.

Auch die langen Ciliarvenen, deren Verlauf dem der Arterien entsprechen sollte, sind wohl mehr der Analogie zu Liebe angenommen worden, wofür besonders die abweichenden Angaben der Autoren über den Verlauf dieser Gefässe sprechen.[2]

Veranlassung zu ihrer Annahme können übrigens zweierlei Beobachtungen gegeben haben; einmal die zwischen zwei Vortices von vorn nach hinten verlaufenden Venen, welche in deren Verbindungsbogen einmünden und einigermassen in ihrem Verlauf mit den langen Ciliararterien übereinstimmen; zweitens die zuweilen vorkommende circulär verlaufende Vene im Ciliarmuskel, welche einen Ast der langen Ciliararterie eine Strecke weit begleitet. Beide haben keinen gesonderten Austritt durch die Sklera und berechtigen auch in ihrem Verlauf nicht entfernt dazu, sie als besondere Gefässe aufzuführen.

Zu bemerken ist noch, dass die intraocularen Venen, sowohl die der Aderhaut als der Netzhaut klappenlos sind; Injectionen gelingen in beiderlei Richtung.

C. Die Gefässe der Sklera.

§ 18. Die Sklera erhält, wie oben angegeben wurde, von den Ciliararterien und Venen, ehe sie von ihnen durchbohrt wird, feine Zweige, welche sich auf ihrer äusseren Oberfläche verästeln. Ueber dem grössten Theil der Sklera findet sich ein weitmaschiges Netz von feinen Gefässen und Capillaren, wobei in der Regel eine bis zwei Venen eine feinere Arterie, im letzteren Fall zu beiden Seiten begleiten; nicht selten hängen die Venen dabei durch quere Verbindungen zusammen. An der Eintrittsstelle des Sehnerven geht das episklerale Netz in das ähnlich beschaffene der äusseren Sehnervenscheide über.

1) Anat. Untersuchungen u. s. w. S. 16—17.

2) Ebenda.

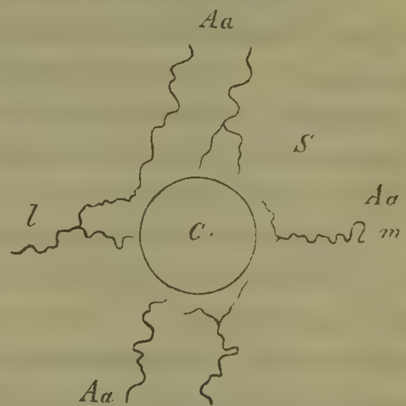
Das Gewebe der Sklera selbst ist sehr gefässarm, abgesehen von den Gefässen der Aderhaut, welche die Sklera nur perforiren. In der Umgebung des Sehnerveneintrittes liegt in ihr eingeschlossen der *Circ. arteriosus n. optici s. Zinnii.*

Eine viel reichlichere Entwicklung erreicht dagegen das episklerale und sklerale Gefässnetz im vordersten Abschnitt der Sklera, in der Umgebung des Hornhautrandes.

Die Gefässanordnung an dieser Stelle verdient, auch schon aus praktischem Interesse, weil diese Gefässe während des Lebens der directen Beobachtung zugänglich sind, eine etwas ausführlichere Beschreibung.

§ 19. Die vorderen Ciliararterien treten aus den Sehnen der geraden Augenmuskeln zur Oberfläche der Sklera hin, gewöhnlich zwei von jedem Muskel, lateralwärts meistens nur eine. Ausnahmsweise wird auch eine vordere Ciliararterie von den Lidarterien abgegeben und zwar meistens auf der lateralen Seite; sie nimmt dann ihren Verlauf in der Bindehaut, von welcher sie erst an ihrer Perforationsstelle zur Sklera übertritt. Die Arterien sind gewöhnlich stark geschlängelt, am meisten die der medialen Seite und theilen sich nach Abgabe feiner Zweige zur Oberfläche der Sklera in zwei bis drei Aeste, welche theils die Sklera durchbohren und zum Ciliarkörper gelangen, theils in der Nähe des Hornhautrandes seitlich umbiegen und bogenförmige Verbindungen untereinander eingehen. Die Durchtrittsstelle der perforirenden Aeste ist gewöhnlich etwas pigmentirt und während des Lebens als dunkler Punct zu erkennen. Die perforirenden Aeste übertreffen die oberflächlichen an Stärke bei weitem.

Fig. 11.



Vordere Ciliararterien beim lebenden Auge nach v. Woerden. *C* Cornea. *S* Sklera. *Aa* Aa. cil. ant. *m* mediale. *l* laterale Seite.

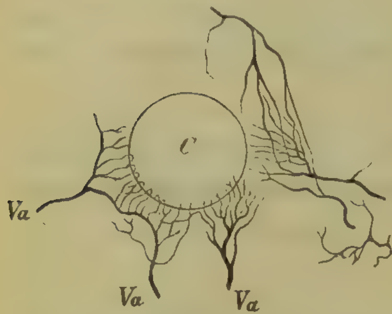
Aus den Verbindungsbogen in der Nähe des Hornhautrandes entspringen in regelmässigen Abständen zahlreiche sehr feine, gestreckt verlaufende Aestchen, welche sich in Zweige zum Hornhautrande und zur Skleralbindehaut theilen. Die letzteren treten, schlingenförmig umbiegend, als vordere Bindehautarterien zur Conjunctiva hinüber, verlaufen in dieser nach rückwärts (vom Hornhautrand sich entfernend) und lösen sich theils in das Capillarnetz der Bindehaut auf, theils hängen sie mit den von der Uebergangsfalte herkommenden hinteren Bindehautarterien zusammen.

Die Zweige zum Hornhautrande zerfallen durch dichotomische Theilung in immer feinere Reiser, welche, wie die gröberen, regelmässig durch Bogen verbunden sind und über den Hornhautrand hinüberziehend das den peripherischen Saum derselben einnehmende Randschlingennetz erzeugen.

Die vorderen Ciliarvenen entstehen wie die Arterien, aber gewöhnlich in etwas grösserer Zahl (2—3 von jedem geraden Augenmuskel) und sind von

viel geringerem Kaliber als die ersteren, was sich durch die geringere Stärke ihrer perforirenden Aeste erklärt. Während die Arterien im Leben leicht gesehen werden, sind die Venen wegen ihrer Feinheit nicht oder kaum mehr sichtbar, treten aber deutlich zum Vorschein, wenn sie durch Reizung des Auges sich stärker ausgedehnt haben.

Fig. 12.



Vordere Ciliarvenen nach v. Woerden bei Reizung des Auges. *C* Cornea. *Va* Vv. cil. ant.

Die Venen unterscheiden sich ausserdem von den Arterien durch ihren mehr gestreckten Verlauf und durch die viel reichlichere Verästelung und Netzbildung. Ihre Aeste entsprechen denen der Arterien; ausser 1) aus den perforirenden Aesten, aus dem Ciliarmuskel, erhalten sie ihre Zuflüsse 2) aus dem episkleralen Gefässnetz, 3) aus der Skleralbindehaut, den vorderen Bindehautvenen, 4) aus dem Randschlingennetz der Hornhaut.

Die Stämmchen zerfallen rasch in mehrere Aeste, welche sich baumförmig auf der Oberfläche der Sklera verzweigen und in der Nähe des Hornhautrandes, aber meist in etwas grösserem Abstand von demselben als die Arterien, durch gegenseitige Verbindungen Gefässbogen erzeugen, welche von vorn her die Zuflüsse aus dem Randschlingennetz der Hornhaut und die mit diesem verbundenen vorderen Bindehautvenen aufnehmen.

Während ihres Verlaufes auf der Sklera sind die Verzweigungen der vorderen Ciliarvenen durch ein ziemlich dichtes Netz mit feinen polygonalen Maschen, das episklerale Venennetz, unter einander verbunden. Dasselbe vereinigt sowohl die gröberen als feineren Verzweigungen der Venen und seine feinsten Maschen sind als wirkliche Capillaren zu betrachten, da sie aus den letzten Verzweigungen der episkleralen Arterienreiser Zuflüsse erhalten, aber die Zahl der letzteren ist unverhältnissmässig geringer als die der Venen, so dass das episklerale Netz doch vorwiegend aus venösen Gefässen besteht. Seine Maschen sind so eng, dass die Oberfläche der Sklera an dieser Stelle bei Entzündungen durch Ausdehnung der Gefässe eine röthliche Färbung annimmt.

Das episklerale Gefässnetz nimmt eine Breite von 5—6 Mm. rings um die Hornhaut ein, lockert sich nach hinten rasch und geht in das weitmaschige, den übrigen Theil der Sklera deckende Netzwerk über. Ueber den Hornhautrand hinüber setzt es sich continuirlich in das ähnlich beschaffene, aber feinere Randschlingennetz der Hornhaut fort.

Ferner erstreckt es sich in die Dicke der Sklera hinein, indem auch die perforirenden Aeste der vorderen Ciliarvenen während ihres Durchtrittes durch die Sklera netzförmig verbunden sind. Das sklerale Venennetz reicht aber nicht so weit nach hinten, als das episklerale und je weiter nach der Tiefe, um so mehr ziehen sich die Gefässe nach vorn zusammen, bis zuletzt in der innersten Schicht der Sklera neben der Insertionsstelle des Ciliarmuskels nur ein schmaler circulärer Venenkranz übrig bleibt, der *Circulus* oder *Plexus venosus ciliaris*, *Circ.* oder *Sinus venosus corneae*, gewöhnlich *Canalis Schlemmii* genannt, der mit den aus dem Ciliarmuskel kommenden, perforirenden Aesten der vorderen Ciliarvenen zusammenhängt.

Bei manchen Thieren ist das sklerale Venennetz ganz besonders stark entwickelt; so findet man u. A. im vorderen Theil der Sklera beim Hund circuläre Netze von ungemein weiten, sinusartigen Venen.

Der *Circulus venosus ciliaris.*

§ 20. Der von SCHLEMM entdeckte und nach ihm benannte Venenkranz liegt am vorderen Ende der Sklera, dicht an ihrer inneren Oberfläche, nach aussen und etwas nach vorn (gegen die Cornea zu) von der Insertion des Ciliarmuskels. Er ist nach der vorderen Kammer hin bedeckt von dem *Ligamentum pectinatum.* Hebt man den Ciliarkörper von hinten her von der Sklera ab und löst die Insertion des Ciliarmuskels los, so entsteht an der Insertionsstelle am Skleralrand eine seichte circuläre Rinne (SCHLEMM, F. ARNOLD), deren hinterer Rand gewöhnlich scharf abgesetzt ist, während der vordere sich mehr allmählich erhebt. Nach aussen von dieser Rinne (Skleralrinne SCHWALBE) und zugleich sich etwas nach vorn erstreckend liegt der *Circulus venosus*, nur bedeckt von einem dünnen, faserigen, häufig etwas pigmentirten Gewebe (der inneren Wand des Schlemm-schen Kanales der Autoren), das zum *Ligamentum pectinatum* (im weiteren Sinne des Wortes) gehört. Dasselbe lässt sich als ein schmaler ringförmiger Streifen im Zusammenhang von den darunterliegenden Gefässen ablösen, wodurch die Skleralrinne noch tiefer wird. Dieser Streifen besteht aus feineren und mehr circulär verlaufenden faserigen Balken als im übrigen Theil des *Ligamentum pectinatum*, mit zahl-



Fig. 13. Meridionalschnitt durch ein injicirtes menschliches Auge; vorderer Abschnitt. *C* Cornea. *I* Iris. *S* Sklera. *Pc* Process. ciliar. *Cv* Circ. venosus, welcher hier auf dem Durchschnitt ein grösseres, schief durchschnittenes und zwei kleinere Gefässe erkennen lässt. *L* Lig. pectinatum. *R* Randschlingennetz der Cornea.

reichen elastischen Fasern. Ein offener Zusammenhang des *Circulus venosus* mit dem Lückensystem des *Lig. pectinatum* ist mit Sicherheit auszuschliessen.

Das Verhalten des *Circulus venosus* ist an verschiedenen Stellen des Umfanges und an verschiedenen Augen etwas ungleich. Meistens findet sich eine grössere, bis $^1/_4$ Mm. breite, abgeplattete, sehr dünnwandige Vene, welche fast allenthalben von einer oder mehreren feineren begleitet wird, die sich von ihr abzweigen und nach kurzem Verlauf wieder mit ihr verbinden (vgl. Fig. 14). Auf Querschnitten sieht man an diesen Stellen das Lumen der grossen Vene sinusartig klaffen und es gelingt dann auch eine feine Borste in sie einzuführen oder mit einer sehr feinen Canüle eine Injection vorzunehmen. An manchen Stellen zerfällt nun die grosse Vene durch Theilung in 2, 3 oder selbst mehr entsprechend feinere Aeste, welche unter einander anastomosiren und sich in mannichfacher Weise wieder zu einem grösseren Gefässe verbinden. Sehr oft vereinigen sich die aus einer Theilung entstandenen Aeste sofort wieder, so dass in den Verlauf des Gefässes wie eine kleine Insel eingeschaltet ist. Seltener und nicht an jedem Auge trifft man an einem Theil des Umfanges eine grössere Zahl (5—7) ziemlich gleich grosser, neben- oder theilweise übereinander verlaufender Venen, die durch vielfache Anastomosen einen zierlichen Plexus bilden, und gleichfalls allmälig wieder zu einem oder wenigen grösseren Gefässen zusammentreten. An Querschnitten gut gehärteter Augen sieht man alsdann die Gefässe, wenn sie nicht zu fein sind, quer oder schräg durchschnitten und häufig unter einander zusammenhängend, auch ohne Injection (vgl. Fig. 15); die feineren entgehen aber leicht der Beobachtung besonders an Querschnitten von nur in Alkohol erhärteten Augen. Eine genauere Vorstellung über die Beschaffenheit des *Circ. venosus* erhält man deshalb nur an injicirten Augen und besonders durch Vergleichung von Flächen- und Durchschnittspräparaten.

Der plexusartige Charakter des Gefässkranzes ist nicht an allen Augen gleich stark entwickelt. Er tritt immer an denjenigen Stellen des Umfanges am meisten hervor, wo die aus dem Ciliarmuskel austretenden Venen sich mit ihm verbinden (Fig. 14 *V*). An keinem Auge findet man aber ringsum nur eine einzige breite Vene, so dass das Ganze nicht als ein Kanal, sondern als ein circulärer Plexus bezeichnet werden muss.

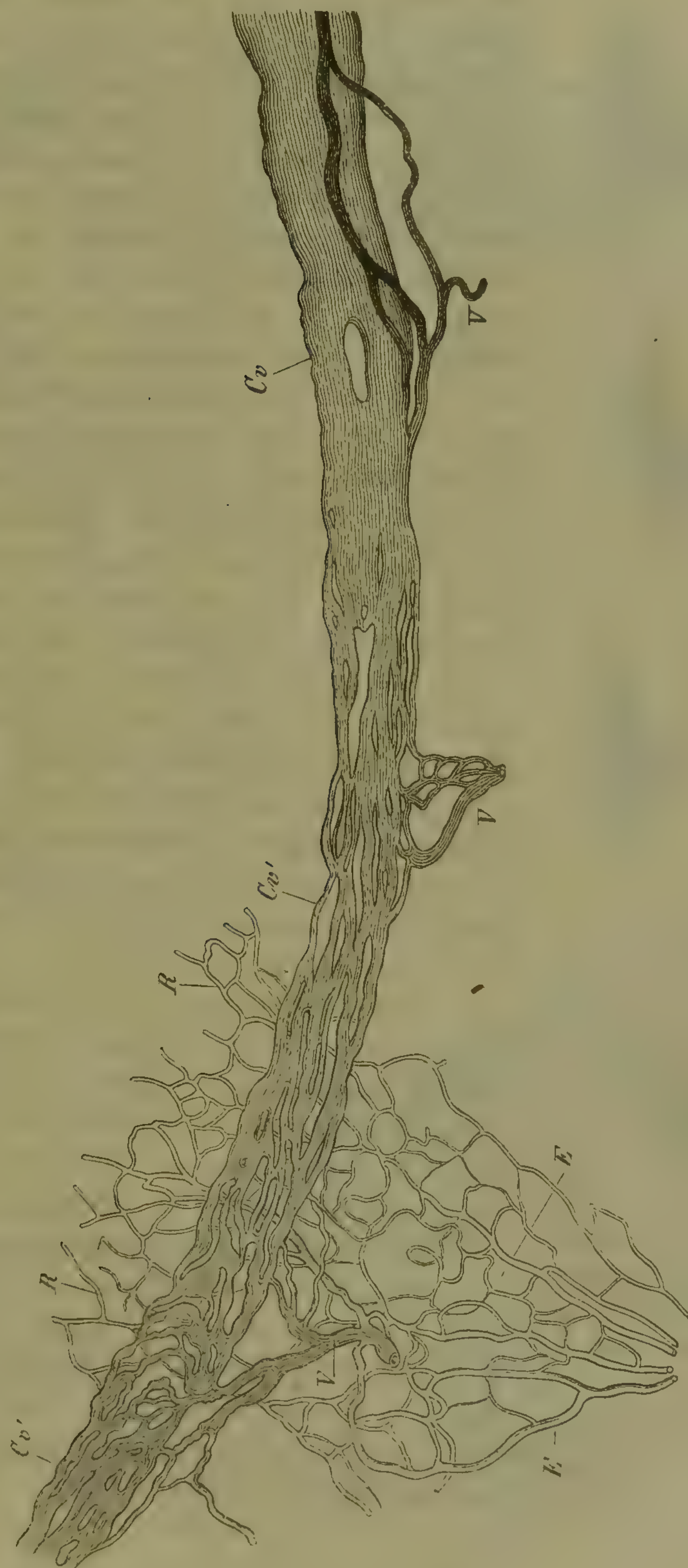
Die Zuflüsse aus dem Ciliarmuskel treten nahe seinem vorderen Rande aus demselben aus, wobei sie nicht selten von kleinen Arterien begleitet werden; ich zählte ihrer in einem Falle 12—14 im Umfang des Muskels, wobei einige feine vielleicht nicht mitgerechnet waren; ein anderes Mal fand ich 18—20 Verbindungsstellen des *Circulus venosus* mit Venen des Ciliarmuskels. Sie theilen sich in der Nähe des *Circulus venosus* in mehrere anastomosirende Aeste, welche theils mit dem ersteren in Verbindung treten, theils noch immer netzförmig verbunden die Sklera in schräger Richtung durchbohren und in die vorderen Ciliarvenen einmünden.

Auch mit den Venen des Randschlingennetzes der Hornhaut stehen sie durch einzelne, mehr nach vorn ziehende Gefässe in Verbindung.

An den Verbindungsstellen der Ciliarmuskelvenen mit dem *Circulus venosus* findet sich immer eine netzförmige Verbreiterung des letzteren; es kann dabei entweder die ganze Breite des Gefässkranzes ein gleichförmiges Netz darstellen, oder einem oder wenigen breiteren Gefässen schliesst sich an dem von der Hornhaut abgewendeten Rande ein feines Venennetz an. Nach Ablösung des Ciliar-

muskels bemerkt man auf der Sklera, etwa so weit als der Muskel reicht, ein lockeres Netz noch feinerer Venen, das der Substanz der Sklera angehört, nach

Fig. 14.



Circulus oder Plexus venosus ciliaris von einem durch die A. ophth. injicirten menschlichen Auge. Flächenpräparat, Sklera mit Terpentinöl und Firniss durchsichtig gemacht. *Cv* Circ. venosus, hauptsächlich aus einer breiten Vene gebildet. *Cv'* Zerfall der letzten in mehr oder minder zahlreiche, netzförmig verbundene Zweige. *VV* Venen des Ciliarmuskels, die sich mit dem Circ. venosus verbinden und auch mit dem episkleralen Venennetz *E* zusammenhängen. *R* Uebergang des episkleralen Venennetzes in das Rand-Schlingennetz der Hornhaut.

vorn in das Netz des *Circulus venosus* übergeht und sich nach hinten durch immer weiter werdende Maschen allmälig verliert. Die Gefässe haben einen

unregelmässig geschlängelten Verlauf, eine auffallend ungleichmässige Dicke und ungleiche Weite der von ihnen gebildeten Maschen.

Fig. 15.



a—f. Meridionale Durchschnitte durch den Circ. venosus von ein und demselben nicht injicirten menschlichen Auge. An jedem Schnitte zeigt der Gefässkranz ein verschiedenes Bild je nach der Zahl und Richtung der ihn bildenden Gefässe.

Nicht selten sind die aus dem Ciliarmuskel austretenden Venen von feinen Arterien begleitet, welche in der Sklera in circulärer Richtung weiter verlaufen; ähnliche Zweigchen gehen auch von den perforirenden Aesten der vorderen Ciliararterien noch innerhalb der Dicke der Sklera ab. Zuweilen lassen sich diese Reiser weiterhin wieder in den Ciliarmuskel zurück verfolgen, doch ist es möglich, dass auch einige derselben in der Sklera selbst in Venen übergehen. Ich habe nicht mit Sicherheit ermitteln können, ob der *Plexus ciliaris* und die Venennetze innerhalb der Sklera auch einige arterielle Zuflüsse erhalten.

Der *Circulus venosus* lässt sich sowohl von den Arterien als den Venen her injiciren. Auch durch directes Einsetzen einer feinen Canüle in das frei gelegte Lumen der grösseren Vene kann der Ciliarkranz und von ihm die vorderen Ciliarvenen auf der Oberfläche der Sklera injicirt werden, sei es mit Quecksilber oder mit einem gelösten Farbstoff. F. Arnold erhielt auf diesem Wege auch Injection der Irisvenen, aber wohl auf indirectem Wege, da kein directer Zusammenhang derselben mit dem *Circulus venosus* existirt.

Uebrigens kommen bei diesen Injectionen sehr leicht Extravasate vor, was bei der Dünnwandigkeit der Gefässe und der Zartheit des sie umgebenden Gewebes leicht erklärlich ist und auch die Ursache war, dass man früher an dieser Stelle einen einfachen ringförmigen Kanal zu finden glaubte.

Von mehreren Beobachtern wurde Blut in dem *Circulus venosus* gefunden, zuerst von Schlemm bei Erhängten; nach Iwanoff und Rollett kommt es aber auch sonst nicht selten vor. Es ist ein gewichtiger Beweis für die Blutgefässnatur der betreffenden Räume, zu welchem noch der Nachweis der Gefässwandung kommt, der sich an Quer- und Schrägschnitten unzweifelhaft erbringen lässt.

Bei Thieron findet sich an der dem Schlemm'schen »Kanal« entsprechenden Stelle ein zierlicher, aus ziemlich gleich grossen Gefässen gebildeter ringförmiger Plexus (Rouget). Ich habe denselben beim Kaninchen (auch beim Fötus), Hund, Ochs, Schaf und der Ziege injicirt. (Vgl. Fig. 16 und 17.) Er liegt in der Sklera und erstreckt sich von der Insertion des Ciliar-

Fig. 16.



Circulus oder Plexus venosus ciliaris vom Kalb. Flächenpräparat. Injection durch eine Vena vorticosa. *Cv* Circ. venosus. *Vs* Sklerale und episklerale Venen, die mit ersterem stellenweise zusammenhängen.

Fig. 17.

Meridionaler Schnitt durch den vorderen Abschnitt eines von den Ven. vorticosae injicirten Ziegenauges. *C* Cornea. *I* Iris. *Pc* Process. ciliaris. *S* Sklera. *F* Fontana'scher Raum. *cv*, *cv* Gefässe des Circ. venosus, welche nach aussen von dem Balkenwerk des Fontana'schen Raumes in der Sklera eine lange Reihe bilden. *Cj* Conjunctiva.

muskels bis zu der der Iris; er hat also seine Lage, wie beim Menschen nach aussen vom *Ligamentum pectinatum*, so hier nach aussen von dem dem *Lig. pectinatum* entsprechenden Balkengewebe des Fontana'schen Raumes. (Vgl. Fig. 13 und 17.) Bei denjenigen Thieren, besonders den Wiederkäuern, wo der Fontana'sche Raum stark entwickelt und die Insertion des Ciliarmuskels in Folge dessen weit nach hinten gerückt ist, hat er deshalb auch eine bedeutende Breite. Löst man den Ciliarkörper ab, so bleiben die Gefässe in der Sklera, von reichlichem Pigment bedeckt und ohne künstliche Injection überhaupt nicht sichtbar. Nach Entfärbung des Pigmentes durch Chlorwasser erhielt ich an Augen, die von den *Venae vorticosae* injicirt waren, sehr schöne Bilder des Plexus. Derselbe ist bei den Thieren mit ovaler Hornhaut ziemlich rund und entfernt sich deshalb oben und unten viel weiter als an den Seiten von dem an der Aussenfläche ovalen Hornhautrande.

Historisches.

Nach HALBERTSMA's Angabe hat zuerst ALBIN den *Circ. venosus* injicirt, was aber nur in dem nach ALBIN's Tode gedruckten Catalog seiner Präparate veröffentlicht worden ist. Allgemein bekannt wurde er erst unter dem Namen des Schlemm'schen Kanals nach seiner Wiederentdeckung durch SCHLEMM (1830). Mit Recht schreibt BRÜCKE Letzterem das Verdienst der Entdeckung zu, obgleich später nachgewiesen wurde, dass LAUTH und nach F. ARNOLD's Angabe auch TIEDEMANN ihn ebenfalls injicirt hatten, weil sowohl LAUTH als ARNOLD ihn mit dem *Canalis Fontanae* verwechselten, Letzterer sogar mit dem *Circulus venosus Hovii*. SCHLEMM betont dagegen ausdrücklich, dass sein Kanal etwas von dem Fontana'schen beim Ochsen Verschiedenes sei.

Die völlige Verschiedenheit dieser Dinge wurde von BRÜCKE klar auseinander gesetzt, später von PELECHIN aber wieder der *Canalis Fontanae* und *Schlemmii* zusammengeworfen; IWANOFF und ROLLETT brachten dann durch eine genauere histologische Untersuchung der betreffenden Gegend wieder die Verschiedenheit beider zur Geltung.

Der Zusammenhang des *Circ. venosus* mit den vorderen Ciliarvenen wurde von F. ARNOLD und HUSCHKE nachgewiesen, irrthümlich aber von ersterem und RETZIUS angegeben, dass Irisvenen in ihn mündeten. Die plexusartige Beschaffenheit desselben wurde zuerst von ROUGET angegeben, aber dabei unrichtiger Weise der Zusammenhang mit den Aderhautvenen gänzlich in Abrede gestellt; ersteres wurde von mir bestätigt, letzteres berichtigt.

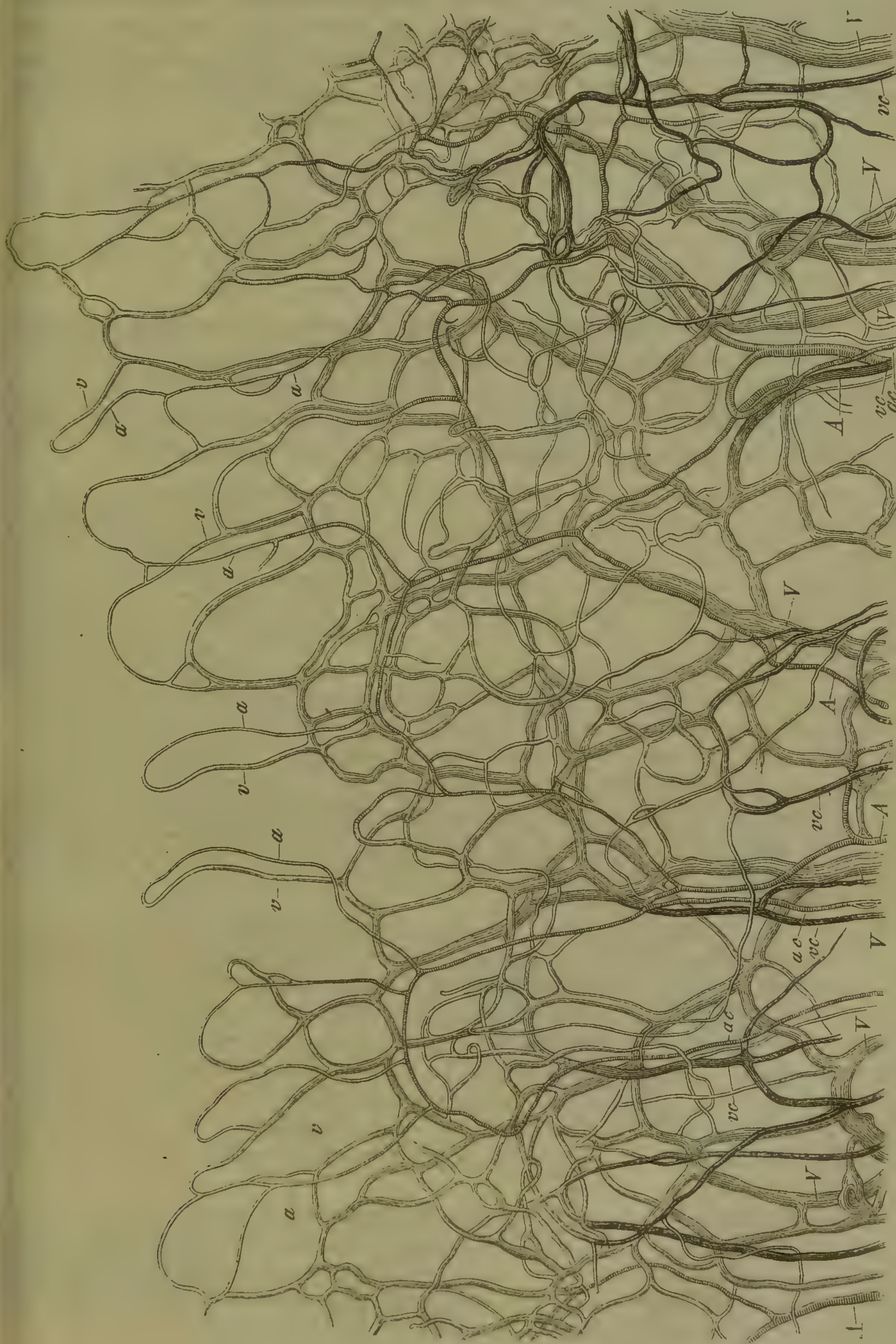
Neuerdings hat G. SCHWALBE wieder die Blutgefässnatur des *Circ. venosus* in Zweifel gezogen und einen directen Zusammenhang mit dem Lückensystem des *Lig. pectinatum* oder Fontana'schen Raumes und der vorderen Kammer zu beweisen gesucht. Durch Injection in die vordere Kammer lassen sich die vorderen Ciliarvenen sehr schön injiciren, in der Regel aber und ohne Zerreissung nur mit diffusionsfähigen Farbstoffen (z. B. Carmin), nicht mit colloiden (Berlinerblau). RIESENFELD und mir ist es gelungen, eine Mischung von Carmin- und Berlinerblau-Lösung durch Injection in die vordere Kammer zu trennen; es trat nur das diffusionsfähige Carmin in die Gefässe über, während das Berlinerblau zurückgehalten wurde, wodurch ein offener Zusammenhang von Blutgefässen mit der vorderen Kammer widerlegt wird.

D. Die Gefässe der Hornhaut.

§ 21. Beim Menschen finden sich Gefässe nur in einem schmalen, oberflächlich den Hornhautrand umgebenden Saum, dem sog. *Limbus* oder *Annulus conjunctivae*, wo die Hornhaut oberflächlich durch das Hinüberreichen der faserigen Conjunctiva weisslich trübe ist, wo aber noch kein lockeres subconjunctivales Gewebe sich findet. Entsprechend der grösseren Breite dieses Saumes am oberen und unteren Rande reichen auch die Gefässe hier weiter, 1 — $1\frac{1}{2}$, höchstens 2 Mm. in die Hornhaut hinein, an den Seiten weniger weit, $\frac{1}{2}$—1 Mm.

Das Randschlingennetz der Hornhaut.

Die Zweige der vorderen Ciliararterien zum Hornhautrande verlaufen nach Abgabe der vorderen Bindehautarterien über den Hornhautrand hin–



Randschlingennetz der Hornhaut und Uebergang in das episklerale Gefässnetz vom erwachsenen Menschen. *AA* episklerale Aeste der vorderen Ciliararterien, *VV* der vorderen Ciliarvenen, durch das episklerale Venennetz verbunden. *aa* arterieller, *vv* venöser Schenkel der Randschlingen. *ac* und *vc* vordere Bindehautarterien und Venen, die von den episkleralen Gefässen abgegeben werden.

über und zerfallen durch fortgesetzte dichotomische Theilung in gestreckt verlaufende Zweigchen von sehr grosser Feinheit, welche, ebenso wie die grösseren Aeste, durch zahlreiche Anastomosen zu mehreren vor einander liegenden Reihen von Gefässbogen vereinigt werden; die vordersten Ausläufer derselben, zum Theil aber auch Zweige der weiter zurückliegenden Gefässbogen biegen schlingenförmig um und gehen, sich allmählich erweiternd, in die Anfänge der Venen über. Man unterscheidet daher an den capillaren Randschlingen einen feineren aufsteigenden, arteriellen und einen beträchtlich weiteren absteigenden, venösen Schenkel. Der venöse Schenkel hat mindestens die doppelte Weite des arteriellen.

Ersteren fand ich (an einer Berlinerblau-Glycerin-Injection) 0,005—0,006 Mm., letzteren 0,01—0,015 Mm. weit; einzelne arterielle Zweigchen waren noch feiner, nur 0,003 Mm., also kleiner als ein Blutkörperchen, waren aber vielleicht unvollständig gefüllt.

Rouget vergleicht diese Anordnung der Gefässe mit der am Rande anderer gefässloser Theile z. B. der Gelenkknorpel, wo ähnliche terminale Netze vorkommen.

Der übrige Theil der Hornhaut ist beim Menschen vollständig gefässlos. Höchstens kommen ausnahmsweise am Hornhautrande auch in den tiefen Schichten einzelne Gefässschlingen vor (Gerlach, Coccius), welche aber ebenfalls nur eine sehr kurze Strecke in die Hornhaut hineinreichen und wegen ihrer Inconstanz wahrscheinlich als Residuen pathologischer Processe zu betrachten sind.

Der alte Streit über die Existenz von Gefässen in der menschlichen Hornhaut wurde von E. Brücke und Gerlach entschieden, welche zuerst alle Gefässe mit Schlingen im Hornhautrande endigen sahen, was von mir bestätigt wurde. Seit der Anwendung gelöster Farbstoffe zur Injection ist auch die Annahme von serösen Gefässen, an welcher Hyrtl noch am längsten festhielt, hinfällig geworden. Die Beobachtungen von bluthaltigen Gefässen an der entzündeten Hornhaut sind durch Neubildung zu erklären; das in früherer Zeit mehr betonte rasche Auftreten derselben in manchen Fällen steht dem nicht entgegen; es kann sich um Gefässe handeln, welche einer vorausgegangenen Entzündung ihre Entstehung verdankten, später theilweise zurückgebildet und schwer sichtbar geworden waren, durch einen Rückfall der Entzündung sich aber rasch wieder erweiterten. Auch die von Römer, J. Arnold und Hyrtl injicirten Gefässnetze in der Hornhautoberfläche können als pathologische Bildungen angesehen werden, da in keinem derselben eine genaue Untersuchung der Hornhaut während des Lebens gemacht war und geringe Trübungen (z. B. durch parenchymatöse Keratitis) am cadaverösen Auge nicht nachweisbar sind. Das verschiedene Aussehen dieser Gefässnetze spricht auch gegen das Fortbestehen einer fötalen Bildung.

Beim Fötus soll die Cornea über ihre ganze Oberfläche Gefässe besitzen. Es wurde dies zuerst beobachtet von J. Müller und Henle, nach welchen die Gefässe beim Fötus sich bis $1/6$ oder $1/4$ des Durchmessers der Hornhautoberfläche über deren Rand hinüber erstrecken, aber die Mitte selbst nicht zu erreichen scheinen. Die Angaben beziehen sich indessen grösstentheils auf Schafsfötus (für welchen auch Gerlach die Angaben bestätigt), wo die Cornea auch nach der Geburt reichlicher vascularisirt ist, während menschliche Fötus nur mit erwähnt werden. Beim Kaninchenfötus fand ich bei einem Durchmesser der Cornea von $5\frac{1}{2}$ Mm. ein schön entwickeltes und scharf abgegrenztes Randschlingennetz. Das Verhalten beim menschlichen Fötus bedarf daher um so mehr noch weiterer Untersuchung, als die erste Anlage der Cornea jedenfalls gefässlos ist.

Bei manchen Thieren kommen ausser dem oberflächlichen Randschlingennetz, wie es beim Menschen beschrieben wurde, noch tiefe Gefässschlingen in der Hornhaut vor, welche sich viel weiter in sie hinein erstrecken, als die oberflächlichen. Sie begleiten die Nerven und bilden um dieselben Netze mit langgestreckten Maschen, sind aber mehr vereinzelt und nicht zu einem so regelmässigen, continuirlichen Kranze verbunden wie die letzteren. Die

Gefässe sind auch weiter und ihre Wandungen mit zahlreichen Kernen versehen. Besonders entwickelt sind diese tiefen Schlingen beim Ochsen und Schaf; bei letzterem erreichen sie nach Coccius nicht selten die Mitte und hängen von beiden Seiten her zusammen. Gerlach hat solche tiefere Gefässe auch beim Menschen gesehen; Coccius konnte sie jedoch unter 50 Augen nur zweimal deutlich nachweisen, von $^1/_4$—1 Par.''' Länge. Ich selbst habe tiefe Gefässschlingen einige Male bei sonst wenig veränderten Hornhäuten nach vorausgegangener Entzündung beobachtet und wenn man die Häufigkeit der Keratitis bedenkt, welche nicht selten ausser der Gefässbildung nur geringe Trübungen hinterlässt, die am cadaverösen Auge kaum oder gar nicht wahrzunehmen sind, so kann wohl angenommen werden, dass die normale menschliche Hornhaut keine tiefen Capillarschlingen besitzt.

Bei Keratitis treten sehr häufig in der Hornhaut neugebildete Gefässe auf, welche von den den Hornhautrand umgebenden Gefässen auswachsen und in allen Schichten der Hornhaut ihre Lage haben können.

E. Die Gefässe der Bindehaut.

§ 22. Der Tarsaltheil der Bindehaut, die Uebergangsfalte und der grössere Theil der *Conjunctiva sklerae* werden versorgt von den Gefässen der Lider, *Aa. palp. med.* und *lat.*, und den entsprechenden Venen; ein kleinerer, den Hornhautrand umgebender Theil der Skleralbindehaut von Zweigchen der vorderen Ciliargefässe, den vorderen Bindehautgefässen.

Fig. 19*a*.



Dickendurchschnitt durch ein oberes Augenlid vom Menschen. Doppelte Injection, Blau durch die Art., Barytweiss durch die Ven. ophth.; der Baryt war bis in die feineren Venen eingedrungen und ist in der Abbildung schwarz wiedergegeben, die blau injicirten Gefässe quer gestrichelt. — Vorderes Ende des Lides mit einem Theil des freien Randes, der äussere Theil des Dickendurchschnittes weggelassen; ebenso Fig. 19*b*. — *Me* Meibom'sche Drüsen mit dem sie umspinnenden feinen Gefässnetz. *p* Papillen der Conjunctiva mit ihren Gefässen. *v*, *v* subconjunctivale Venen. *M* Musc. ciliaris des Lides. *Ci* Cilie mit ihrem Haarbalg.

Aus den von den Palpebralarterien gebildeten *Arcus tarsei sup.* und *inf.* gehen einerseits Aeste zur Haut und zur Lidmusculatur, andererseits nach innen zur Bindehaut und zu den Meibom'schen Drüsen. Die letzteren treten nach Wolfring durch den Tarsus durch und verlaufen parallel den Meibom'schen Drüsen unter häufigen Anastomosen nach dem freien Lidrande hin, von wo ihnen ähnlich verlaufende Gefässe entgegen kommen. Sie ertheilen dabei nach zwei Seiten hin Aestchen, nach vorn zu den Meibom'schen Drüsen, nach hinten zu den Papillen der Bindehaut. Die Acini der ersteren werden von einem dichten Netz

Fig. 19*b*.



Oberes Ende des Lides, Uebergang zur Umschlagsfalte.

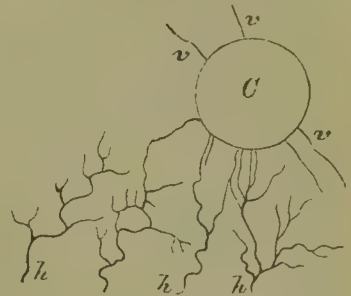
feiner Gefässe umsponnen. Die Papillen des Tarsaltheils sind im normalen Zustande nur sehr klein, wenig hervorragend und ihre Zwischenräume werden durch eine Fortsetzung der tiefsten Schicht des Epithels grösstentheils ausgefüllt. Ihre Gefässe bilden einfache oder complicirte Schlingen, an welchen man nach Hyrtl (wie am Randschlingennetz der Hornhaut) einen dünnen aufsteigenden, arteriellen und einen fast doppelt so weiten venösen Schenkel unterscheidet; bei Blennorrhoe kann der venöse Schenkel viermal so stark werden als der arterielle und zugleich geschlängelt, während der letztere geradlinig bleibt. Die Gefässe der benachbarten Papillen hängen untereinander netzförmig zusammen. Die Anfänge der Venen aus der Bindehaut und den Meibom'schen Drüsen sammeln sich zu einem dichten Netz ziemlich weiter Venen zwischen Tarsus und Bindehaut, aus welchem zahlreiche den Meibom'schen Drüsen parallele Venen nach dem convexen Rand des Tarsus zu einem den arteriellen Gefässbogen entsprechenden Venennetze hinziehen.

Nach der Uebergangsfalte zu werden die Papillen breiter und höher und gehen, wo der Tarsus aufhört, in faltenartige Erhabenheiten über. Die Conjunctiva wird hier von einem oberflächlich gelegenen und etwas weniger dichten Capillarnetz als am Tarsaltheil durchzogen, welches keine emporstrebenden Gefässschlingen erkennen lässt. Noch lockerer ist das Capillarnetz der *Conjunctiva sklerae*, weshalb auch eine alleinige Hyperämie desselben keine starke Röthung des Auges zur Folge hat.

Soweit die Sklera von Bindehaut überzogen ist, muss man an ihrer Oberfläche zwei verschiedene Gefässschichten unterscheiden, eine tiefe Schicht, der subconjunctivalen oder episkleralen Gefässe, welche von den Verzweigungen der vorderen Ciliararterien und Venen gebildet wird, und eine oberflächliche, der conjunctivalen Gefässe.

Die Gefässe der Skleralbindehaut werden wieder unterschieden in hintere und vordere Bindehautgefässe. Die hinteren Bindehautarterien und Venen entstehen aus derselben Quelle, wie die der übrigen Theile der Bindehaut; sie kommen an der Uebergangsfalte zum Vorschein und verlaufen als zahlreiche, baumförmig verzweigte Gefässchen nach dem Hornhautrande hin, wobei regelmässig eine engere Arterie von einer oder zwei stärkeren Venen, im letzteren Falle zu beiden Seiten begleitet wird. Das Capillarnetz besteht aus lockeren, unregelmässig eckigen Maschen. In den peripherischen Theilen der Bindehaut finden nur sehr wenige Verbindungen mit der tiefen Gefässschicht statt; gegen den Hornhautrand nimmt ihre Zahl allmählig zu, aber erst am letzteren selbst kommt eine innige Verbindung beider Gefässschichten durch die vorderen Bindehautgefässe zu Stande.

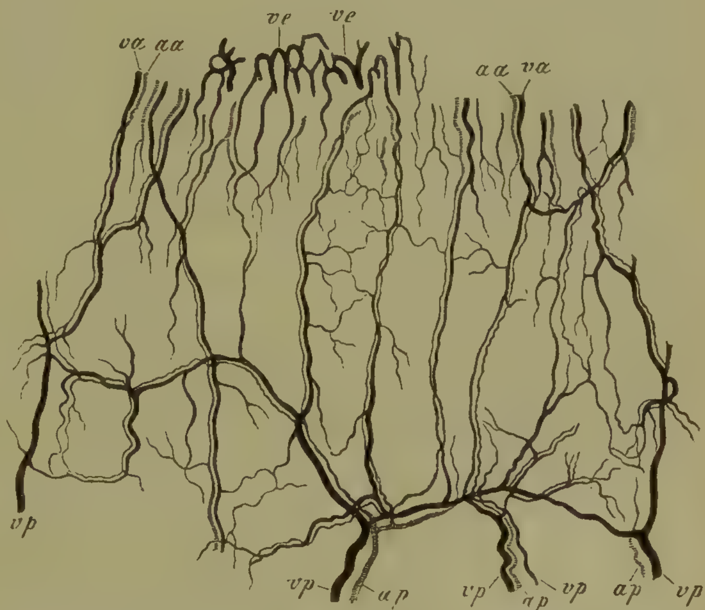
Fig. 20.



Vordere u. hintere Bindehautgefässe beim Lebenden nach v. Woerden. *C* Cornea. *v* vordere, *h* hintere Bindehautgefässe.

Die vorderen Bindehautarterien und Venen (v. Woerden) entspringen aus den vorderen Ciliargefässen, meist dicht am Hornhautrand oder nur wenig davon entfernt, gewöhnlich gemeinschaftlich mit den Zweigen für das Randschlingennetz; sie wenden sich in regelmässigen Abständen von $^1/_4$—$^1/_2$ Mm. schlingenförmig zur Bindehaut hinüber, verlaufen in dieser als sehr feine gestreckte Gefässchen in radiärer Richtung nach rückwärts, sich vom Hornhautrande entfernend, und verlieren sich theils im Capillarnetz der Bindehaut, theils anastomosiren sie mit den vordersten Enden der hinteren Bindehautgefässe.

Fig. 21.



Skleralbindehaut vom Menschen, injicirt, Arterien hell, Venen dunkel. *aa* Aa. conj. ant. *va* Vv. conj. ant. *ap* Aa. conj. post. *vp* Vv. conj. post. *ve* Reste des episkleralen Venennetzes, die beim Ablösen der Bindehaut vom Hornhautrande an dieser sitzen geblieben sind und an welchen man den Ursprung der vorderen Conjunctivalvenen aus dem Netz der vorderen Ciliarvenen erkennt.

Durch diese Anastomosen ist die Möglichkeit gegeben, dass der Hornhautrand sowohl von den Gefässen der tiefen Schicht, von welchen er eigentlich versorgt wird, als von denen der Bindehaut Blut zugeführt erhält. In pathologischen Fällen ist dies von Wichtigkeit; beim Pannus können diese Verbindungen sich derart ausdehnen, dass die neugebildeten Gefässe der Hornhaut sich nach rückwärts direct in die Skleralbindehaut bis zur Uebergangsfalte verfolgen lassen.

Anhang.

Die Lymphgefässe und serösen Räume des Auges.

§ 23. Eigentliche Lymphgefässe sind im Innern des Auges bisher nicht beobachtet und scheinen auch nicht vorzukommen, nur in der Conjunctiva sind dieselben durch Injection nachgewiesen. Es ist selbst noch nicht einmal festgestellt, ob der Augapfel Lymphe im gewöhnlichen Sinne des Wortes nach aussen abgiebt. Dagegen kommen im Innern und in der Umgebung des Auges verschiedentliche, mit Endothel bekleidete und mit seröser Flüssigkeit erfüllte Hohlräume vor, welche in neuerer Zeit, besonders seit den wichtigen Untersuchungen von Schwalbe dem Lymphgefässsystem zugerechnet und als Lymphräume bezeichnet werden. Es sind dies namentlich die vordere und hintere Augenkammer, der Perichoroidalraum, der Intervaginalraum des Opticus, der sog. Tenon'sche Raum zwischen der Aussenfläche des Bulbus und der Tenon'schen Kapsel u. s. w. Die anatomischen Verhältnisse dieser Räume sind in dem ersten Theil dieses Handbuches in den Capiteln über die makroscopische und besonders über die mikroscopische Anatomie des Auges eingehend behandelt worden, so dass hier darauf verwiesen werden kann. Ohnehin bieten sich einer zusammenhängenden Bearbeitung dieses Gegenstandes noch grosse Schwierigkeiten dar, da Vieles noch der Controverse unterliegt. Auch die physiologische Bedeutung, die Secretions- und Absorptionsverhältnisse der die Räume erfüllenden Flüssigkeiten sind noch sehr wenig durch Versuche erforscht; was vom *Humor aqueus* in dieser Beziehung bekannt ist, wird weiter unten mitgetheilt werden.

Die fraglichen Räume in und am Bulbus können den sog. serösen Räumen des übrigen Körpers an die Seite gesetzt werden: Arachnoidal- und Subarachnoidalraum, Peritoneal- und Pleurahöhle, Gelenkhöhlen u. s. w., da sie wie diese von glatten, mit Endothel bekleideten Flächen begrenzt sind und zur Erleichterung oder Ermöglichung gewisser Bewegungen dienen. So ist der Bulbus mit seiner glatten Aussenfläche an der Innenfläche des von der Tenon'schen Kapsel überzogenen Fettpolsters der Orbita wie in einem Kugelgelenk drehbar. Der Opticus ist, ähnlich wie das Gehirn, durch eine Art hydropischen Bindegewebes (Henle) von seiner der Dura entsprechenden äusseren Scheide getrennt und in ihr gewissermassen aufgehängt, wodurch er der unmittelbaren Einwirkung von äusserem Stoss und Druck entgeht und auch weniger Zerrung bei den Augenbewegungen ausgesetzt ist. Die Lückensysteme zwischen den einzelnen Scheiden des Opticus setzen sich auch, wie Schwalbe gefunden hat, direct in die entsprechenden Räume des Gehirns fort.

Auch die an einander liegenden, nach Schwalbe mit Endothel bekleideten, glatten Flächen der Choroidea und Sklera ermöglichen eine Bewegung, nämlich die accommodatorische Verschiebung der Choroidea an der Innenfläche der Sklera, wodurch die Abspannung und Wiederanspannung der Zonula bewerkstelligt wird. Ein freier Raum ist indessen hier während des

Lebens in normalem Zustande nicht vorhanden; die beiden Flächen berühren sich vollständig und bei vorsichtiger Eröffnung der Sklera, ohne die Aderhaut zu verletzen, entleert sich (wenigstens beim Kaninchenauge) keine Flüssigkeit.

Die vordere und hintere Augenkammer gestatten die freie Bewegung der diaphragmaartig ausgespannten und nur mit ihrem Pupillarrande auf der Linse aufruhenden Iris; erstere unterhält ausserdem die normale Wölbung und Spannung der Hornhaut und hilft mit bei der Brechung der Lichtstrahlen im Auge.

Ein Zusammenhang dieser Lückensysteme mit abführenden Lymphgefässen ist nicht nachgewiesen, für die vordere Kammer kann sogar sehr wahrscheinlich gemacht werden, dass er nicht vorkommt. Injicirt man die Blutgefässe des Auges mit einer erstarrenden Masse, und spritzt dann eine andersgefärbte Flüssigkeit in die vordere Kammer ein, so gelingt es nicht, abführende Lymphgefässe zu injiciren, obgleich jetzt der Flüssigkeit der Abflussweg durch Filtration in die Blutgefässe versperrt ist.

Der Zwischenscheidenraum des Opticus und der Raum der Tenon'schen Kapsel hängen nach Schwalbe mit dem Arachnoidalraum des Gehirns zusammen, der seinerseits wieder mit abführenden Lymphgefässen in Verbindung stehen soll.

Literatur über die Blutgefässe des Auges.

1. Allgemeines.

Die Hand- und Lehrbücher der Anatomie enthalten das meiste Hierhergehörige. Die ältere Geschichte unserer Kenntnisse über die Gefässe des Auges findet sich in Haller's Hist. arter. oculi in der Einleitung. Besondere Arbeiten über die Gefässe des Auges im Allgemeinen liegen nur wenige vor. Die folgende Zusammenstellung kann deshalb auf Vollständigkeit keinen Anspruch machen.

1702. Hovius, de circulari humor. motu in oculis. Traj. ad. Rhen.
1753. Zinn, Descr. anat. ocul. hum. Goett.
1754. A. v. Haller, Arter. oculi historia und Tab. arteriar. oculi. Goett.
1778. J. G. Walther, Epist. anat. ad W. Hunter de venis oculi etc. Berlin.
1804. S. Th. Soemmering, Icones oc. human. Francf.
1832. F. Arnold, Anat. u. physiol. Unters. über d. Auge d. Menschen. Heidelberg.
1839. —— Tabb. anat. Fasc. II. Icon. org. sens. Turici.
1847. E. Brücke, Anat. Beschreibung des menschl. Augapfels. Berlin.
1856. Ch. Rouget, Note sur la structure de l'oeil et en particulier sur l'appareil irio-choroïdien. Compt. rend. et Mem. de la soc. de Biolog. p. 113—132.
1865. Th. Leber, Anat. Untersuchungen über die Blutgefässe des menschl. Auges. Denkschrift. d. k. Akad. d. Wiss. zu Wien. Math.-naturwiss. Cl. XXIV. Bd. S. 297—330. Sep.-Abdr. Wien.

1865. Th. Leber, Unters. über d. Verlauf u. Zusammenhang der Gefässe im menschl. Auge. Arch. f. Ophth. XI. 1. S. 1—57.

1872. —— Die Blutgefässe des Auges in Stricker's Handb. d. Lehre v. d. Geweben. II. Band. S. 1049—1062. Leipzig.

Gefässe der Netzhaut und des Sehnerven.

1753. Zinn, Observat. quaed. bot. et anat. de vas. subtil. ocul. etc. Goett. p. 27.

1754. A. v. Haller, Tab. arter. oc. p. 45. Desgl.

1755. Zinn, Descr. anat. oc. hum. Goett. p. 216. (Sehnervenkranz.)

1755. —— Descr. anat. 2. ed. p. 220—221. (Centralvene d. Netzhaut.)

1778. Walter de venis oculi (dasselbe).

1824. Tiedemann, Ztschr. f. Physiologie. I. 2. Heidelberg. (Sehnervenkranz.)

1839. Hyrtl, Berichtigungen über das Ciliarsystem des menschl. Auges. Oesterreich. med. Jahrb. XIX. 1. (Gefässe des Sehnerven.)

1844. Huschke, Sömmering's Anat. Eingeweide u. Sinnesorgane. Leipz. p. 722. (Sehnervenkranz.)

1854. Gerlach, Handb. d. allg. u. spec. Gewebelehre. Mainz. S. 500—501. (Gefässe der Retina.)

1855. Donders, Ueber die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegung im Auge. Arch. f. Ophth. I. 2. S. 75—105.

1856. H. Müller, Anat.-physiol. Unters. über die Retina des Menschen u. der Wirbelthiere. Ztschr. f. wissensch. Zool. VIII. p. 1—122. (Gefässe der Retina.)

1861. E. v. Jaeger, Ueber die Einstellungen des dioptr. Apparates im menschl. Auge. Wien. S. 52—56. (Sehnervenkranz.)

1863. Kugel, Ueber Collateralkreisläufe zwischen Choroidea u. Retina. Arch. f. Ophth. IX. 3. S. 129—132.

1865. Th. Leber, Anat. Unters. etc. Denkschr. d. Wiener Akad. Math.-naturw. Cl. XXIV. (Sehnervenkranz, Gefässe des Opticus, Gefässverbindungen zwischen letzteren u. dem Ciliargefässsystem.)

1865. Galezowski, Sur l'existence de vaisseaux capillaires d'origine cérébrale dans la papille du nerf optique. Gaz. hebd. Nr. 51.

1869. Sesemann, Die Orbitalvenen des Menschen u. ihr Zusammenhang mit den oberflächlichen Venen des Kopfes. (Ursprung der V. centr. ret.) Reichert u. Du Bois Reymond's Arch. p. 2 ff.

1872. Wolfring, Beiträge zur Histologie der Lamina cribrosa sklerae. Arch. f. Ophth. XVIII. 2. S. 10—24. (Gefässe des Opticus.)

1872. Th. Leber, Bemerkungen über die Circulationsverhältnisse des Opticus u. der Retina. Ibid. S. 25—37.

1874. Merkel, Dieses Handb. I. 1. S. 108—110. (Ursprung der V. centr. ret.)

Ueber die Gefässe der Retina vergl. auch die ophthalmoscopischen Bilderwerke von E. v. Jaeger, Liebreich, Magnus etc.

1832. Henle de membrana pupillari aliisque oc. membr. pellucentibus. Bonn. (A. hyaloidea.)

1832. Fr. Arnold, Anat. u. physiol. Unters. über d. Auge. Heidelberg. Taf. II. Fig. 6.

1851. —— Handb. d. Anat. d. Menschen II. 2. S. 1054. (Circ. arter. Mascagni.)

1856. H. Müller, Ueber die Arteria hyaloidea als ophthalmoscop. Object. Arch. f. Ophth. II. 2. S. 65—69.

1862. H. Müller, Ueber die Netzhautgefässe von Embryonen. Würzb. naturw. Zeitschr. II. S. 222—223.

1868. J. Stilling, Zur Theorie des Glaucoms. Arch. f. Ophth. XIV. 3. S. 259 ff. (Can. hyaloideus.)
1869. ——, Studie über den Bau des Glaskörpers. Ibid. XV. 3. S. 299 ff.
1869. Richiardi, Sopra il sistemo vascolare sanguifero dell' occhio del feto umano. Arch. p. l. la zool., l'anat. etc. ser. II. vol. 1.
1871. Kessler, Untersuchungen über die Entwickelung des Auges am Hühnchen u. am Triton. Inaug.-Diss. Dorpat.
1872. Lieberkühn, Ueber das Auge des Wirbelthierembryo.
1874. J. Arnold, Beiträge zur Entwickelungsgeschichte des Auges. Heidelberg.

1856. H. Müller, Anat.-physiol. Unters. über die Retina d. Menschen u. der Wirbelthiere. Ztschr. f. wissensch. Zool. VIII. p. 1—122. (Netzhautgefässe bei Thieren.)
1859. van Trigt, Der Augenspiegel, bearbeitet v. Schauenburg. 2. Aufl. S. 35—41. (Gefässe der Retina beim Hunde.)
1861. H. Müller, Notiz über die Netzhautgefässe bei einigen Thieren. Würzb.-naturw. Ztschr. II. S. 64.
1861. Hyrtl, Ueber anangische Netzhäute. Sitzungsber. der Wien. Akad. XLIII. 1. p. 207—212.
1862. H. Müller, Ueber das Auge des Chamaeleon. Würzb.-naturw. Ztschr. III. S. 10—42.
1864. Rosow, Ueber die Folgen der Durchschneidung des N. opt. Sitzungsb. d. k. Akad. z. Wien. L. II. Abth. Math.-naturw. Cl. (Netzhautgefässe beim Kaninchen.)
1866. Cuignet, Ann. d'Ocul. LV. Mars. Avr. (Circulat. in den Gefässen der Hyaloid. des Frosches.)
1867. G. Pouchet et Th. Leber, Anatomie du globe et des glandes de l'oeil chez le tamanoir. (Myrmecophaga jubata.) Journ. de l'anat. et de la physiol. T. IV.
1868. W. Krause, Die Membrana fenestrata der Retina. Leipzig. S. 28. (Blutgefässe der Netzhaut des Aales.)
1871. R. Berlin, Ueber Sehnervendurchschneidung. Zehend. Monatsbl. IX. S. 278 ff. (Gefässe der Hyaloidea beim Frosch.)

Gefässe der Aderhaut.

1702. Hovius, De circulari humor. motu in oculis. p. 23—24. Tab. III. Fig. 4. (Circ. venosus Hovii.)
1737. Ruysch, Epistola anat. XIII. de oculi tunicis. Amstelod. — Thesaurus anat. II. (Membr. Ruyschiana.)
1754. Haller, Hist. arter. oc. p. 47.
1755. Zinn, Descr. anat. oc. hum.
1821. Soemmering, Ueber das feinste Gefässnetz der Aderhaut im Augapfel. Denkschr. d. k. Akad. d. Wissensch. z. München. Bd. 7 u. Separatabdruck.
1832. F. Arnold, Anat. u. phys. Unters. p. 10 ff.
1834. Retzius, Ueber den Circ. venos. im Auge. Müller's Arch. S. 292—295.
1847. Brücke, Anat. Beschr. d. menschl. Augapfels.
1865. Th. Leber, Anat. Unters. etc. Denkschr. d. Wien. Akad. l. cit. — Ders., Unters. über Verlauf u. Zusammenhang d. Gefässe etc. Arch. f. Ophth. XI. 1.

Circulus venosus ciliaris.

1775. Supellex anatom. B. S. Albini. (Katalog der Präparate Albin's, herausgegeben von seinem Bruder F. B. Albinus.)

1787. F. Fontana, Ueber das Viperngift nebst einigen Beobachtungen über d. ursprünglichen Bau des menschlichen Körpers. Uebers. Berlin. (Enthält die Beschreibung des nach Fontana benannten Kanales, richtiger Lückensystems im Ochsenauge.) Das Original erschien in Florenz 1781.
1829. E. A. Lauth, Manuel de l'anatomiste. Paris.
1830. F. Schlemm in Rust's Handb. d. Chirurgie. III. S. 333.
1830. —— Ueber den Kanal an der Verbindungsstelle von Sclerotica u. Cornea. Ztsch. f. Ophth. von v. Ammon I. 1.
1831. F. Schlemm, Berliner encyclopäd. Wörterbuch Bd. VI. p. 559.
1832. Fr. Arnold, Anat. u. phys. Unters. über d. Auge. S. 10. ff.
1834. Retzius, Ueber den Circ. venosus im Auge. Müller's Arch. 1834. S. 292.
1847. E. Brücke, Anatom. Beschr. d. menschl. Augapfels. S. 11. 17. 49. 50.
1856. Ch. Rouget, Note sur la structure de l'oeil et en particulier sur l'appareil irio-choroïdien. Compt. rend. de la Soc. de Biologie. 1856. p. 113—132.
1861. H. T. Halbertsma, Bijdrage tot de geschiedenis van den canalis Schlemmii. Versl. en mededeel. d. kon. Acad. v. Wetensc. afd. Nat. K. II.
1865. Th. Leber, Anat. Unters. über d. Blutgef. d. menschl. Auges. Wien.
1865. —— Unters. über d. Verlauf u. Zusammenhang d. Gefässe im menschl. Auge. Arch. f. Ophth. XI. 1. S. 27—34.
1865. G. Meyer, Ueber die Structurverhältnisse des Annulus ciliaris b. Menschen u. Säugethieren. Virch. Arch. XXXIV. 3. p. 380.
1866. Henle, Jahresber. über d. Fortschr. d. Anat. f. 1865. Zeitschr. f. rat. Med. 3. XXVII. S. 96—97.
1867. Pelechin, Ueber den sog. Kanal von Fontana oder Schlemm. Arch. f. Ophth. XIII. 2. S. 423—446.
1868. Mauthner, Lehrbuch der Ophthalmoscopie. Wien.
1869. A. Iwanoff u. A. Rollett, Bemerkungen zur Anatomie der Irisanheftung u. des Annulus ciliaris. Arch. f. Ophth. XV. 1. S. 17—74.
1870. G. Schwalbe, Unters. über die Lymphbahnen d. Auges und ihre Begrenzungen. II. Theil. M. Schulze's Arch. VI. S. 261—362.
1870. Th. Leber, Strickers Handb. d. Lehre v. d. Geweben. II. S. 1058—1060.
1871. E. Riesenfeld, Zur Frage über die Transfusionsfähigkeit der Cornea u. die Resorption aus der vorderen Augenkammer. Inaug.-Diss. Berlin.
1873. Th. Leber, Studien über den Flüssigkeitswechsel im Auge. II. Ueber den Zusammenhang der vorderen Kammer mit Blutgefässen (Widerlegung). Arch. f. Ophth. XIX. 2. S. 91—106.

Gefässe des Hornhautrandes.

1832. Henle, De membrana pupillari etc. Bonn.
1837. Roemer, Bemerkungen über die arteriellen Gefässe der Bindehaut. v. Ammon's Ztschr. f. Ophthalmologie. V. 1. S. 21.
1847. E. Brücke, Anat. Beschr. S. 10. 48.
1851. F. Arnold, Handb. der Anatomie d. Menschen. II. 2. S. 1009. Freiburg i. Br.
1852. Coccius, Die Ernährungsweise der Hornhaut etc. Leipzig. S. 81 ff.
1854. Gerlach, Handb. d. allg. u. spez. Gewebelehre d. menschl. Körp. Mainz. S. 209. 481.
1856. His, Beitr. z. norm. u. pathol. Histologie der Cornea. Basel.
1856. Ch. Rouget, Note sur la struct. de l'oeil etc. Compt. rend. de la Soc. de Biologie. p. 118.
1860. J. Arnold, die Bindehaut der Hornhaut u. der Greisenbogen. Inaug.-Diss. Heidelberg.
1865. Th. Leber, loc. cit.

1869. Hyrtl, Ein präcorneales Gefässnetz am Menschenauge. Sitzungsber. d. Wien. Akad. math.-naturw. Cl. LX. 1. Abth. S. 769—776.

1872. Rollett, Art. Hornhaut in Stricker's Handb. d. Lehre von d. Geweben. II. S. 1126.

Gefässe der Sklera und Bindehaut.

1854. Arlt, Die Krankheiten d. Auges. I. Band. S. 4. Prag.

1860. Hyrtl, Eine Eigenthümlichkeit der Capillargefässe der menschlichen Conjunctivapapillen etc. Wien. med. Wochenschr. N. 44. S. 701.

1860. J. Arnold, loc. cit.

1864. van Woerden, Bijdrage tot de kennis der uitwendig zigtbare vaten van het oog, in gezonden en zieken toestand. 5. jaarl. versl. betr. d. verpleging en het onderwijs in het Nederl. Gasth. v. ooglijders. Utrecht. p. 231 ff.

1864. Donders, Omtrent de uitwendige vaten v. h. oog en den darin waarneemb. bloedsomloop. ibid. p. 260 ff.

1865. Th. Leber loc. cit.

1868. Wolfring, Ein Beitrag zur Histologie des Trachoms. Arch. f. Ophth. XIV. 3. S. 159—182.

II. Physiologischer Theil.

2. Abschnitt.

Die Circulationsverhältnisse der Netzhaut.

Abgeschlossenheit des Gefässgebietes der Netzhaut.

§ 24. Da nach dem Durchtritt durch die *Lamina cribrosa* die Verzweigungen der Centralarterie sowohl von den anderen Gefässen des Auges, als auch unter sich vollkommen getrennt verlaufen, so ist wenigstens vom Eintritt in die Netzhaut an die Centralarterie selbst, sowie auch jeder ihrer Aeste für sich, als eine vollkommene Endarterie zu betrachten, d. h. als ein Gefäss, welches vor seinem Uebergang in Capillaren keine Verbindungen mit anderen eingeht (Cohnheim). Sie stimmt hierin, wie in dem Charakter ihrer Verästelung mit den kleinen Arterien des Gehirns überein.

Nur an der Eintrittsstelle des Sehnerven findet überhaupt ein Zusammenhang der Netzhautgefässe mit anderen Gefässen des Auges statt. Die Verbindungen sind aber, wenn auch zahlreich, doch sehr fein; die Gefässe stehen den Capillaren schon sehr nahe und es ist anatomisch noch nicht genügend festgestelt, ob Anastomosen von mehr als capillarem Caliber vorkommen.

Man hat diesen Verbindungen wegen der Folgen, welche die Unterbrechung des Blutzuflusses durch die Centralarterie nach sich ziehen muss, eine grosse Wichtigkeit beigelegt. Nach Embolie des Stammes dieser Arterie vor dem Eintritt in die *Lamina cribrosa* findet man ihre Verzweigungen in der Netzhaut fast

blutleer, fadenförmig und die Function der Netzhaut ist dauernd aufgehoben. Allmählig stellt sich dann wieder ein gewisser Grad von Füllung der Gefässe her, doch nur vorübergehend; zuletzt sind die Arterien wieder äusserst verengt, jedoch niemals völlig blutleer.

Es scheint daraus zu folgen, dass durch die Gefässverbindungen an der Eintrittstelle des Sehnerven vorübergehend wieder etwas Blut in die Netzhaut gelangen kann, dass aber diese Verbindungen zu unbedeutend sind, um einen genügenden Collateralkreislauf entstehen zu lassen. Der Ausgang ist Atrophie der Netzhaut, wobei es immer zu einer erheblichen Verengerung der Gefässe kommt. Die vorübergehende Erweiterung der Arterien und besonders die zuweilen beobachtete Wiederherstellung einer unregelmässigen und unterbrochenen Strömung des Blutes in den Gefässen sind durch diesen spärlichen collateralen Zufluss von den Ciliargefässen wohl zu erklären. Doch wäre auch daran zu denken, dass zuweilen von vorn herein noch eine ganz geringe Menge Blut in die Centralarterie gelangen oder das Lumen später wieder etwas wegsamer werden könnte. Da die bleibende Unterbrechung der Blutzufuhr durch die Centralarterie dauernde Erblindung zur Folge hat, so muss man schliessen, dass die Gefässverbindungen am Sehnerveneintritt für die Ernährung der Netzhaut unerheblich sind und dass die Centralarterie im Wesentlichen als Endarterie zu betrachten ist, wenn sich auch an der Ernährung der Papille und des anstossenden Bezirks der Netzhaut die Ciliargefässe mit betheiligen.

Folgen der Unterbrechung der Netzhautcirculation.

§ 25. Die Erscheinungen nach Embolie der Centralarterie unterscheiden sich wesentlich von denen bei Embolie anderer mit Endarterien versehener Organe: bei letzteren entsteht ein hämorrhagischer Infarkt und Nekrose des betroffenen Gefässabschnittes; bei der Netzhaut dagegen folgt auf die anfänglich hochgradige Verengerung der Arterien ein nur geringer und vorübergehender Nachlass dieser Erscheinung, während die Venen allerdings eine Zeit lang über die Norm ausgedehnt sein können. Besonders ausgesprochen ist die Erweiterung immer in der Peripherie der Netzhaut, während die Venen auf der Sehnervenpapille meist verengert sind. Blutungen treten gar nicht oder nur sehr vereinzelt und von geringer Grösse auf. Die Gewebsveränderungen bestehen in einer mässig intensiven Trübung der Netzhaut, am stärksten in der Gegend der *Macula lutea*, die bald wieder zurückgeht, später in Atrophie der Netzhaut. Die Ursache dieser Verschiedenheit kann darauf beruhen, dass der intraoculare Druck dem rückläufigen Einströmen von Venenblut ins Innere des Auges, wodurch in anderen Organen nach Cohnheim der hämorrhagische Infarkt bedingt wird, einen Widerstand entgegensetzt, so dass es nicht zur Entstehung eines Infarktes, sondern nur zu einer mässigen Ausdehnung der Venen kommt. Ausserdem wird wegen der grossen Nähe eines anderen Capillargebietes, des der Choroidea, welches sich wahrscheinlich an der Ernährung der Netzhaut betheiligt, der letzteren immer noch etwas Ernährungsmaterial zugeführt und so die Entstehung von Nekrose verhütet werden. Nur bei Embolie eines Astes der Centralarterie, wo aus dem nicht embolirten Gefässgebiet der Netzhaut, sei es von der Papille her, oder durch Verbindungen der Venen an der *Ora*

serrata Blut herüberfliessen kann, ist ein hämorrhagischer Infarkt des embolirten Abschnittes beobachtet worden (Knapp).

Durchschneidung des Sehnerven bei Thieren bringt nicht immer Circulationsstörung der Netzhaut hervor, weil hier die Centralgefässe meist dicht am Auge in den Sehnerven eintreten. Selbst nach Durchschneidung an der Eintrittsstelle wies Rosow beim Kaninchen die Centralgefässe durch Injection als unverletzt nach. Dem entsprechend fand sich während des Lebens keine Verengerung oder sogar eine leichte Erweiterung der Netzhautgefässe und die Folgen beschränkten sich im wesentlichen auf eine sehr langsam entstehende Atrophie der markhaltigen Nervenausbreitung der Retina (an welcher sich von sonstigen Elementen nur noch die Ganglienzellen betheiligten.) Ich kann diese Erfahrungen bestätigen, fand aber, dass beim Kaninchen bei möglichst nahe am Auge ausgeführter Durchschneidung die Centralgefässe doch getroffen werden können. Die Gefässe der Netzhaut waren in solchen Fällen sehr stark verengert, die Arterien kaum oder gar nicht sichtbar und fingen erst nach mehreren Tagen an sich wieder etwas zu füllen, die Venen früher als die Arterien. Die Blutsäule war alsdann bei beiden in einzelne, durch farblose Zwischenräume getrennte Stücke zerfallen, welche sich äusserst langsam und etwas unregelmässig fortbewegten, zuweilen gleichzeitig in der Arterie in centrifugaler, in der Vene in centripetaler Richtung. Einmal war diese Erscheinung schon am Abend nach der Durchschneidung an einer Vene zu bemerken, während die Arterien nicht sicher zu erkennen waren; später trat sie an Arterien und Venen zugleich hervor; hierauf wurde die Circulation allmälig rascher und zuletzt wieder gleichmässig. Dieselbe Erscheinung beobachtete ich auch nach Neurotomie des Opticus innerhalb der Orbita bei einer Katze, wo die Ciliarnerven und wohl auch die Ciliargefässe verletzt waren (Anästhesie der Cornea) und wo eine sehr ausgedehnte weisse wolkige Netzhauttrübung entstand, die auf feinkörniger Trübung der nervösen Elemente und Einlagerung von Körnchenzellen beruhte.

Dieselbe unregelmässige und unterbrochene Blutcirculation ist auch beim Menschen wiederholt beobachtet worden und zwar gewöhnlich nur in den Venen, am häufigsten bei Embolie der Centralarterie (E. Jäger, v. Gräfe, R. Liebreich u. A.), dann bei Netzhaut- und Aderhautablösung (R. Liebreich), im asphyktischen Stadium der Cholera (v. Gräfe). Es scheint sich überhaupt um eine Erscheinung zu handeln, welche ein Zeichen äusserster Abschwächung der Circulation ist. In den Arterien und Venen gleichzeitig, mit normaler Richtung des Blutstroms wurde das Phänomen von E. Jäger und von Meyhöfer beobachtet, beide Male bei Embolie der Centralarterie und zwar schon am Tage nach der Erblindung. (Jäger's Fall ist wohl für Embolie zu halten, war aber, als der erste seiner Art, nicht als solche diagnosticirt worden). In Meyhöfer's Fall konnte, nachdem schon seit Monaten wieder eine gleichmässige Füllung der Gefässe eingetreten war, durch Druck auf das Auge wieder der Zerfall in einzelne Stücke hervorgerufen werden; bei noch stärkerem Druck wurden die Venen blutleer und es entstand eine centripetale Strömung in den Arterien, bis auch sie annähernd blutleer wurden.

Nach Durchschneidung des Sehnerven dicht am Auge beim Kaninchen kann übrigens, auch wenn die soeben geschilderten Veränderungen der Netzhautcirculation eintreten, jede sichtbare Trübung der Netzhaut und wenigstens für die ersten 4 Wochen auch die Atrophie der markhaltigen Netzhautfaserung ausbleiben. In anderen Fällen sah ich dagegen schon nach 14 Tagen eine Trübung im Bereich der Markstrahlung der Netzhaut und beginnende Atrophie derselben eintreten. Nach

Durchschneidung des Opticus beim Kaninchen in der Tiefe der Orbita, wo auch die Ciliargefässe und Nerven mit verletzt werden, entsteht nach R. Berlin eine sehr ausgebreitete Trübung der ganzen Netzhaut, wie ich sie nach einem ähnlichen Verfahren bei der Katze beobachtete; in weiterer Folge kommt es zu rascher Atrophie, und was besonders interessant ist, zu reichlicher Pigmenteinwanderung in die Netzhaut vom Pigmentepithel aus. Es scheint daher, dass die Veränderungen der Netzhaut um so rascher eintreten und um so stärker sind, je mehr Gefässe am Auge verletzt werden, was wieder für die Betheiligung der Aderhautgefässe an der Ernährung der Retina spricht.

Auch nach Durchreissung des Opticus beim Menschen wurde ausgedehnte weisse Trübung der Netzhaut bei gleichzeitiger Blutleere ihrer Gefässe und später Atrophie des Pigmentepithels und Pigmententartung der Netzhaut beobachtet (H. Pagenstecher).

Unterbindung des Sehnerven dicht am Auge beim Hunde bewirkt nach Kugel nur momentanes Erblassen der Netzhautgefässe; schon nach 20 Minuten beginnen die Gefässe sich wieder zu erweitern, und zwar zuerst in der Peripherie, und erreichen in den nächsten Tagen eine sehr bedeutende Ausdehnung, woran auch besonders die Verbindungen (der Venen) an der *Ora serrata* sich betheiligen. Das Blut gelangt aber keinesfalls durch Communication mit den Gefässen des Ciliarkörpers, wie Kugel annimmt, in die Netzhaut, sondern wahrscheinlich durch Venenverbindungen an der Eintrittsstelle des Sehnerven. Die starke Ausdehnung der Gefässe ist jetzt durch die unterbrochene Zufuhr arteriellen Blutes nach Cohnheim's Versuchen leicht zu erklären.

Betheiligung der Aderhautgefässe an der Ernährung der Netzhaut.

§ 26. Ausser den Beobachtungen bei Embolie der Centralarterie und bei Durchschneidung des Sehnerven spricht für die Betheiligung der Choriocapillarschicht an der Ernährung der Retina noch die grosse Nähe beider Membranen; dann der Umstand, dass die Maschen der Aderhautcapillaren in der Gegend der *Macula lutea* und in der Umgebung des Sehnerven am engsten sind und je weiter nach vorn um so mehr in die Länge gestreckt werden; dass ferner die Choriocapillaris nur bis zur *Ora serrata* reicht und im Bereich der *Pars ciliaris retinae* fehlt; dass endlich bei gewissen Thierklassen die Netzhautgefässe ganz oder theilweise fehlen und bei manchen auch nicht durch andere Gefässbildungen ersetzt werden (H. Müller).

Einfluss der Gefässvertheilung auf die Deutlichkeit des Sehens.

§ 27. Die im § 5 geschilderte Gefässvertheilung der Netzhaut muss die Deutlichkeit des Sehens in hohem Masse begünstigen. Die Gegend des directen Sehens, die *Macula lutea*, wird von grösseren Gefässen gemieden, welche durch ihre Einlagerung die regelmässige Anordnung der Schichten stören und Schatten auf die dahinter liegende lichtpercipirende Schicht der Stäbchen und Zapfen wer-

fen könnten. Die *Fovea centralis,* sowie die beiden äussersten Schichten der Netzhaut, sind sogar ganz gefässlos, so dass die mosaikartige Nebeneinanderlagerung der lichtpercipirenden Elemente ganz ungestört bleibt. Die geringe Dicke dieser Schichten und der *Fovea centralis* und die geringe Flächenausdehnung der letztern muss ihre Ernährung trotz der Gefässlosigkeit sichern.

Die Blutcirculation in den Netzhautgefässen.

§ 28. Abgesehen von den Fällen, wo durch hochgradige Abschwächung der Circulation die rothe Blutsäule discontinuirlich wird, ist beim Menschen und Säugethier der Blutlauf in den Netzhautgefässen noch nicht objectiv beobachtet. Entoptisch kann derselbe auf verschiedene Weise zur Anschauung gebracht werden, nach Vierordt am besten durch rasches Hin- und Herbewegen der gespreizten Finger zwischen dem Auge und einer hell erleuchteten weissen Fläche. Vierordt hat diese Methode sogar benutzt, um die Geschwindigkeit des Blutlaufes in den Netzhautcapillaren zu messen; er bestimmte dieselbe zu 0,51—0,52 Millimeter in der Secunde, wobei die einzelnen Beobachtungen nur geringe Unterschiede gaben. Helmholtz[1]), der dieselbe Erscheinung studirt hat, wagt indessen nicht, ihr die von Vierordt herrührende Deutung zu geben, ohne aber ihre Möglichkeit in Abrede zu stellen.

v. Hippel und Grünhagen bedienten sich zu demselben Zweck, ähnlich wie schon früher Ruete, eines Satzes von über einander gelegten dunkelblauen Gläsern, durch welche sie nach der Sonne blickten. Sie sahen dabei nicht selten eine mit dem Herzschlag synchronische Beschleunigung der Bewegung, während Vierordt dieselbe immer continuirlich fand. Atropin oder Calabar änderten an der Erscheinung Nichts.

Beim Frosch ist mit dem Augenspiegel die Circulation in der Hyaloidea sehr bequem selbst bis in die Capillaren zu verfolgen (Cuignet). Spritzt man in Wasser suspendirte unlösliche Farbstoffe in die Lymphsäcke ein, so lassen sich nach kurzer Zeit die Farbstoffkörnchen in den Hyaloideagefässen als glänzende Körperchen wahrnehmen, Zinnober schon nach 3 Minuten, Chromgelb und Jodquecksilber nach $1\frac{1}{2}$—2 Minuten (Iwanoff).

Pulsationserscheinungen an den Netzhautgefässen.

§ 29. Für gewöhnlich wird an den Netzhautarterien selbst mit Hülfe der Augenspiegelvergrösserung kein merkliches Pulsiren wahrgenommen. Doch haben Donders und O. Becker in seltenen Fällen und begünstigt durch gewisse Eigenthümlichkeiten im Verlauf und der Verzweigung der Centralarterie bei normalem Auge und Circulationsapparat einen leichten Arterienpuls in der Netzhaut beobachtet. Viel deutlicher ist derselbe bei manchen pathologischen Zuständen, so nach O. Becker zuweilen bei Netzhautablösung; besonders ausgesprochen aber, wie Quincke entdeckt hat, bei Insufficienz

[1]) Physiolog. Optik. S. 382.

der Aortenklappen. Man sieht alsdann eine mit der Systole des Herzens synchronische Ausdehnung und Verlängerung des Gefässrohrs, am deutlichsten an denjenigen Stellen, wo das Gefäss eine Biegung macht. In exquisiten Fällen zeigt sich auch ein mit der Herzaction synchronisches Erröthen und Erblassen der Sehnervenpapille (Capillarpuls, Quincke). Nach O. Becker, der diese Beobachtungen bestätigt und erweitert hat, trifft man den Arterienpuls ausserdem noch bei *Morbus Basedowii*, vielleicht auch (einseitig) bei Aortenaneurysma.

Verschieden hiervon ist der gewöhnlich sogenannte Arterienpuls, der von E. Jäger zuerst beobachtet wurde. Derselbe besteht in einem intermittirenden Einströmen des Blutes in die Netzhautgefässe, synchronisch mit dem Herzschlag, in Folge von Zunahme der Widerstände. Findet der Blutstrom bedeutendere Hindernisse, so tritt allgemein auch an solchen Gefässen eine sichtbare Pulsation auf, wo dieselbe sonst nicht mehr bemerkt wird; bei einer gewissen Stärke der Widerstände wird das Hinderniss durch die mittlere Höhe des Blutdruckes nicht mehr überwunden, sondern nur durch die alsdann sich geltend machende pulsatorische Steigerung desselben. Die gewöhnliche Ursache dieses Arterienpulses ist eine Zunahme des Augendruckes, sei es durch krankhaften Process (Glaucom), sei es von aussen her durch Druck auf das Auge. Auch Druck auf die Centralarterie ausserhalb des Auges (durch Tumoren, Neuritis des Sehnerven u. s. w.) kann die Erscheinung hervorrufen; endlich auch nach Mauthner Verminderung der Triebkraft des Herzens bei normal bleibendem Widerstand (so bei Ohnmacht, Wordsworth).

Auch an den Netzhautvenen kommt und zwar beim normalen Auge eine mit der Herzthätigkeit synchronische Veränderung des Lumens vor, der sog. Venenpuls, entdeckt von van Trigt und von Coccius. Derselbe besteht in einem abwechselnden Anschwellen und Collabiren des centralen Endes der Vene auf der Sehnervenpapille in Folge von pulsatorischen Schwankungen des intraocularen Druckes. Die Verengerung fällt mit der Systole des Herzens zusammen und geht nach E. Jäger unmittelbar dem Radialpuls vorher. Der Venenpuls kommt nicht bei jedem normalen Menschenauge vor, fehlt nicht selten oder ist nur andeutungsweise vorhanden. Er kann alsdann zuweilen durch leichten Druck auf das Auge hervorgerufen werden (Coccius).

Nach Donders' Erklärung kommt der Venenpuls auf folgende Weise zu Stande. Die unmerkliche pulsatorische Ausdehnung aller kleinen Arterien, welche Blut ins Innere des Auges führen, summirt sich derart, dass bei der Systole des Herzens eine etwas grössere Menge Blut in das Auge eingetrieben und dadurch der Augendruck momentan erhöht wird. Diese Drucksteigerung wirkt wieder auf die Austrittsstelle der Vene, an welcher der intravasculare Druck am geringsten sein muss, und erzeugt eine vorübergehende Compression derselben; das von der Peripherie herkommende Blut staut sich, bis der Gefässdruck wieder die Oberhand gewinnt, worauf das Blut ausfliessen kann, und so fort. Der Venenpuls zeigt also die von der Herzthätigkeit abhängigen Schwankungen des intraocularen Druckes an, ähnlich wie ein Manometer oder Sphygmographium. Man hat gegen diese Erklärung den Einwand erhoben, dass innerhalb der Augenkapsel wegen der geringen Ausdehnbarkeit der Sklera, ebenso wie in der Schädelhöhle, plötzliche Erweiterungen der Gefässe nicht möglich seien. Es sollte daher der vermehrte Zufluss durch die Arterie sofort einen vermehrten Abfluss und eine

Verengerung der Vene zur Folge haben (Coccius, Berthold). Die zusammengepresste Ausflussstelle der Vene soll demnach nicht blutleer, sondern nur verengert sein, und durch die verengerte Stelle das Blut rascher ausströmen. Da indessen nach E. Jäger die Compression der Vene an der Austrittsstelle beginnt und von da eine kleine Strecke weit in centrifugaler Richtung weiter schreitet, so ist doch kaum anzunehmen, dass das innerhalb der Retina befindliche Blut nach aussen ausgepresst werde; im Gegentheil scheint die Rückstauung desselben aus der Anschwellung des peripherisch von der verengerten Stelle liegenden Stückes der Vene direct hervorzugehen. Uebrigens ist die Sklera keineswegs absolut unnachgiebig und eine so minimale Ausdehnung, wie sie das Zustandekommen des Venenpulses voraussetzt, ist bei den hier vorkommenden Druckkräften doch sehr wohl annehmbar.

Da nach Donders' Erklärung während der Compression der Vene der Inhalt der Augenkapsel etwas zunehmen, nach der von Coccius aber unverändert bleiben muss, und da die Höhe des Augendruckes von dem Inhalt der Augenkapsel abhängt, so würde die Frage dadurch zu entscheiden sein, dass man ermittelte, ob der Augendruck pulsatorische Schwankungen aufweist oder nicht. Beim Menschen sind indessen derartige Messungen nicht wohl ausführbar und bei manchen Thieren z. B. Kaninchen, wo manometrische Messungen gemacht sind, kommt spontaner Venenpuls in der Netzhaut nicht vor. (Doch hat ihn v. Gräfe beim Hammelauge beobachtet.) Die meisten Beobachter haben nun pulsatorische Schwankungen des Augendruckes bei Thieren beobachtet, diese sind aber bei möglichst fehlerfreien Versuchen an Kaninchen sehr klein oder selbst für das blosse Auge nicht mehr nachweisbar (s. unten § 57). Es würden also zur sicheren Entscheidung der Frage Versuche über den intraocularen Druck an solchen Thieren anzustellen sein, wo deutlicher Venenpuls zu finden ist. Vorläufig kann man aber wohl annehmen, dass wirklich leichte pulsatorische Schwankungen des Augendruckes vorkommen, welche zur Erzeugung des Venenpulses, wo er überhaupt auftritt, ausreichen.

Einfluss des intraocularen Druckes und des Druckes von aussen auf die Netzhautgefässe.

§ 30. Wie soeben erörtert, zeigen die Pulsationserscheinungen an den Netzhautgefässen sehr anschaulich die Abhängigkeit der letzteren von dem auf ihnen ruhenden Drucke. Da nun die Höhe des Augendruckes wieder wesentlich von der Füllung der Gefässe der Aderhaut und Netzhaut abhängt, so müssen die Gefässe beider Membranen in einem gewissen Abhängigkeitsverhältniss von einander stehen, indem stärkere Füllung der einen streben wird, eine geringere Füllung der anderen hervorzurufen und umgekehrt. Indessen wird doch der Einfluss des Aderhautgefässsystems wegen der viel grösseren Zahl und Stärke seiner Gefässe bei weitem die Oberhand haben. **Der Augendruck dient somit als Regulator für die Netzhautcirculation**, indem er raschen Schwankungen im Füllungszustande der Gefässe entgegen wirkt oder sie verhindert.

Nach längerer Zeit kann es jedoch, ebenso wie in der Schädelhöhle, zu sehr bedeutenden Schwankungen des Blutgehaltes kommen, indem durch Aufsaugung

oder Abscheidung der intraocularen Flüssigkeiten Raum geschafft oder ausgefüllt werden kann. Hat man das Auge eine Zeit lang von aussen her gedrückt und lässt dann plötzlich mit dem Drucke nach, so sieht man nach DONDERS die Venen der Netzhaut beträchtlich anschwellen, offenbar weil während des Druckes ein Theil der Augenflüssigkeiten aufgesaugt worden ist und der bei Nachlass des Druckes entstehende Raum durch eine stärkere Ausdehnung der Gefässe ausgefüllt werden muss. Diese Ausdehnung geht erst allmälig wieder zurück.

Wird der Augendruck durch Entleerung des *Humor aqueus* völlig aufgehoben, so kommt es zu einer erheblichen Ausdehnung sämmtlicher intraocularer Gefässe, woran auch die der Netzhaut theilnehmen. War der Augendruck vorher abnorm gesteigert, und hat die Widerstandsfähigkeit der Gefässwände gelitten, so treten leicht kleine Blutungen in der Netzhaut auf (Iridektomie bei acutem Glaucom).

Die Wirkung äusseren Druckes auf die Netzhautcirculation zeigt sich auch darin, dass durch denselben, wie schon oben bemerkt, Arterien- und Venenpuls hervorgerufen werden kann. Wenn kein spontaner Venenpuls besteht, so tritt er häufig bei leichtem anhaltendem Fingerdruck hervor (COCCIUS, DONDERS), wobei die Vene sich mehr abplattet. Bei stossweisem Druck sieht man regelmässig die Venen auf der Sehnervenpapille sich verengern. Wird der Druck mehr gesteigert, so verengern sich die Gefässe dauernd und es tritt Arterienpuls auf, während man an den stark verengerten Venen meistens keine deutliche Pulsation mehr sieht. Nur einige Male giebt DONDERS an, gleichzeitig Arterien- und Venenpuls gesehen zu haben, wobei die Ausdehnung und Verengerung der Arterie mit der der Vene alternirte. Bei noch höherem Druck werden die Gefässe mehr und mehr verengert und die Zeit der Arteriendiastole immer kürzer; schliesslich bleiben die Arterien dauernd blutleer, und nur in den kleineren Venen ist noch etwas Blut enthalten. Ehe es zu völliger Blutleere kommt, sah DONDERS Ausdehnung und Verengerung der Arterien und Venen gleichzeitig, was er dadurch erklärt, dass sich die positive Welle sehr rasch in die Vene fortsetzt, so dass das Blut fast gleichzeitig durch die Arterie ein- und durch die Vene ausfliesst.

O. BECKER giebt an, dass es bei manchen Augen überhaupt nicht gelingt, Venenpuls durch Druck hervorzurufen, oder dass derselbe erst bei stärkerem Druck auftritt, wenn es schon vorher zu Arterienpuls gekommen ist.

Beim Kaninchen sah ich starke Verengerung der Arterien und Venen der Retina bei Druck auf den Bulbus, aber keine Pulsation; bei Nachlass des Druckes erweiterten sich die Gefässe, und besonders stark bei Wiederholung des Versuches.

Auch starker Liddruck und Contraction der Augenmuskeln ist auf die Netzhautgefässe von Einfluss. Bei Nachlass fortgesetzten Druckes durch festes Schliessen der Augenlider sah DONDERS Hyperämie der Netzhautgefässe, wie nach Druck mit dem Finger. v. GRÄFE sah beim Menschen- und Hammelauge eine Zunahme des Venenpulses bei jeder Aenderung der Blickrichtung. Nach COCCIUS entsteht Venenpuls auch durch anhaltendes Sehen in die Nähe; feine Gefässe der Netzhaut und die Sehnervenpapille selbst werden dabei etwas blasser, während hinterher beim Uebergang zum Sehen in die Ferne die Retinalvenen anschwellen. COCCIUS bezieht diese Erscheinungen auf die Wirkung

der Accommodation; doch fragt es sich, ob die gleichzeitige Anspannung der Convergenz nicht ebenfalls oder noch mehr dabei mitwirkt.

Beim Hunde sieht man nach van Trigt den von ihm entdeckten Venenkranz auf der Papille zeitweise und unabhängig von Puls und Respiration erblassen und sich wieder füllen. Die Ursache davon fand Dobrowolsky in vorübergehenden Contractionen der Augenmuskeln und der Lider, da die Erscheinung bei curarisirten Thieren völlig aufhörte.

Einfluss des intraocularen Muskelapparates auf die Netzhautcirculation und Wirkung der Mydriatica und Myotica.

§ 31. Es liegen über den ersteren Gegenstand fast nur die soeben angeführten Beobachtungen von Coccius vor, über Verengerung der Netzhautgefässe bei anhaltendem Nahesehen und Wiedererweiterung beim Sehen in die Ferne, welche aber nicht eindeutig sind. Auch die Angaben verschiedener Beobachter über Zunahme des Augendruckes durch Contraction des Ciliarmuskels (s. unten) sind nicht besser zu Schlüssen in dieser Beziehung zu verwerthen. Nach Atropinisirung, wodurch der *Sphincter pupillae* und *Tensor choroideae* gelähmt, und nach Calabarisirung, wodurch beide Muskeln in spastische Contraction versetzt werden, tritt eine merkliche, d. h. ohne genauere Messungen festzustellende Veränderung an den Netzhautgefässen nicht hervor, und exacte Messungsmethoden sind hierauf noch nicht angewendet worden. (Vergl. hierüber auch das im § 48 über die Wirkung dieser Mittel auf die Aderhautgefässe Gesagte). Bei entoptischer Beobachtung der Netzhautcirculation am eigenen Auge sieht man nach v. Hippel und Grünhagen durch Atropin und Calaber keinerlei Veränderung der Erscheinungen auftreten.

Einfluss der Respiration auf die Netzhautcirculation.

§ 32. Die normale Respiration ist gewöhnlich ohne Einfluss. Dagegen bewirkt nach van Trigt und Donders verstärkter Exspirationsdruck, nach vorhergehendem tiefen Einathmen, eine starke Ausdehnung der Venen auf der Sehnervenpapille, besonders derjenigen Stellen, wo sonst Venenpuls besteht. Während der Dauer des Exspirationsdruckes wird die Pulsation geringer oder hört gänzlich auf. Bei darauffolgender tiefer Inspiration fällt die Vene plötzlich zusammen und zeigt dann, noch in verengertem Zustande, bald wieder Pulsation. Zuweilen sah Donders schon einen Einfluss der gewöhnlichen, nur etwas verstärkten Respirationsbewegungen, welcher sich durch die Abnahme des Druckes in den Venen der Orbita bei der Inspiration und die Zunahme desselben bei der Exspiration erklärt. Die Erweiterung der Netzhautvenen beim Exspirationsdruck kann nicht von gleichzeitiger Contraction der Augenmuskeln herrühren, weil dadurch im Gegentheil die Gefässe enger werden müssten. Bei verstärktem Respirationsdruck kommt aber noch ein anderes Moment hinzu, nämlich die Beeinträchtigung, welche dabei die Herzthätigkeit erfährt und zwar sowohl bei verstärktem Exspirations- als Inspirationsdruck. In Folge dessen sah Donders bei anhaltendem positivem oder negativem Respirationsdruck die Netzhautarterien etwas enger werden; der hierdurch frei werdende Raum kann dann wie-

der zu einer leichten Ausdehnung der Venen führen. Das Sinken der Herzthätigkeit muss also bei anhaltend verstärktem Exspirationsdruck die Ausdehnung der Venen begünstigen, und bei Inspirationsdruck der sonst eintretenden Verengerung entgegen wirken; dies ist auch wohl die Ursache, warum die letztere nicht constant wahrgenommen wird.

Einfluss von Störungen der allgemeinen Circulation auf die Netzhautgefässe.

§ 33. Der intraoculare Druck hat, wie schon erörtert wurde, eine auffallende Unabhängigkeit der Gefässe des Auges von plötzlichen Störungen des allgemeinen Kreislaufs zur Folge. Dieselbe wird noch begünstigt durch die Anastomosen beider Carotiden und Vertebralarterien im *Circulus arteriosus Willisii*, durch welche Störungen an einzelnen dieser Gefässe leicht ausgeglichen werden. Nach Memorsky bringt Zuschnüren einer *Carotis communis* beim Hund nur für einen Augenblick eine Unterbrechung des Blutstroms in der *A. centralis retinae* hervor; selbst bei Unterbindung beider Carotiden oder der *Art. anonyma* (welche beim Hunde beide Carotiden und die rechte Subclavia abgiebt) zeigt sich dasselbe Resultat; es genügt somit eine Vertebralis, um die Circulation in beiden Netzhäuten normal zu erhalten. Erst wenn darauf auch noch die linke Subclavia zugeschnürt wurde, trat Leere der Augenarterien ein, die sich, als die Schlinge gelöst ward, auch nur langsam und allmählig wieder füllten. Bei jungen Hunden rief dagegen die Unterbindung einer Carotis ein Blasswerden des entsprechenden Augengrundes hervor, das zuweilen eine halbe Minute anhielt. Bei Kaninchen trat nach Unterbindung beider Carotiden nicht einmal eine vorübergehende Unterbrechung im Blutstrom der Centralarterie und keine Entfärbung des Augengrundes ein.

A. Weber, welcher diese Beobachtungen bestätigt, fand jedoch, dass nach Compression der Bauchaorta bei Hunden eine auffallend starke Füllung der Retinalgefässe, besonders der Venen, auftrat, die bei Nachlass der Compression wieder zurückging.

Auch bei Compression beider Carotiden am Menschen sah ich keine merkliche Veränderung des Lumens der Centralarterie.

Von Interesse ist auch die Beobachtung von F. Jolly [1]), dass nach Durchleitung von Kochsalzlösung unter mässigem Druck durch eine Carotis beim Kaninchen die *Pia mater* und der Augengrund der betreffenden Seite vollständig erblasste, während der Blutstrom der anderen Seite unverändert blieb. Diese Beobachtung steht mit der oben mitgetheilten nicht im Widerspruch, da nur bei aufgehobenem Zufluss auf der einen Seite das Blut von der anderen herüberströmen wird.

Auch Unterbindung der grösseren Venen ist bei Thieren ohne merklichen Einfluss auf die Füllung der Netzhautgefässe. Weder Unterbindung beider *Venae jugul. ext.*, noch dieser und der *Venae*

1) Untersuchungen über den Gehirndruck u. über die Blutbewegung im Schädel. Würzburg 1871. S. 51.

jugul. int. zugleich hat nach Memorsky bei Hunden eine Veränderung im Blutgehalt der Netzhautgefässe zur Folge, und bei albinotischen Kaninchen in der Blutfüllung dieser und der Aderhaut. Selbst die Compression beider *Venae anonymae* oder der oberen Hohlvene durch eine Fadenschlinge während einer vollen Minute hatte denselben negativen Erfolg. Man muss daraus schliessen, dass bei der Weite und Dünnwandigkeit der grösseren Venen die vollständige Unterbrechung des venösen Blutstromes keine Drucksteigerung in denselben hervorruft, die hinreicht, um sich bis in das Innere des Auges fortzupflanzen. Es kommt hinzu, dass durch die Absperrung des Gebietes der oberen Hohlvene das Herz auch nur etwa die Hälfte der normalen Blutmenge erhält und dass in Folge dessen der arterielle Druck herabgesetzt sein muss.

Die von Memorsky aus seinen Versuchen abgeleitete Folgerung, das Auge sei schon so stark mit Flüssigkeit gefüllt, dass eine rein mechanische Hyperämie desselben nicht stattfinden könne, ist irrthümlich. Wenn man den Venenstrom nicht entfernt vom Auge, sondern unmittelbar an diesem Organe hemmt, durch Unterbindung der *Venae vorticosae*, so tritt eine enorme Stauungshyperämie im ganzen Gebiete der Aderhaut und eine erhebliche Steigerung des intraocularen Druckes auf. Nach Adamük bleibt aber dabei die Netzhautcirculation unverändert; natürlich können die Netzhautgefässe nur indirect durch die Steigerung des Augendruckes beeinflusst werden; doch ist es auffallend, dass ein solcher Einfluss nicht nachweisbar ist.

Memorsky's Versuche stimmen mit der klinischen Erfahrung überein, dass bei Krankheiten, welche zu venösen Stauungen im grossen Kreislauf führen, die Gefässe des Auges sich in der Regel nicht merklich an der Stauung betheiligen. Nur bei der angeborenen Cyanosis, deren Ursache meist Pulmonalstenose ist, betheiligen sich auch die Netzhautgefässe an der allgemeinen venösen Hyperämie.

Während der Ohnmacht sah Coccius die Netzhautarterien auffallend dünner werden, während die Venen im Verhältniss dazu stärker erschienen. Poncet will dagegen Verschmälerung und Erblassen der Venen sowohl wie der Arterien beobachtet haben; Wordsworth sah einmal Arterienpuls dabei auftreten (s. o.).

Unmittelbar nach dem Tode sind die Netzhautgefässe erheblich verengert, besonders die Arterien; die Farbe der letzteren ist dunkler und kommt mehr der der Venen gleich.

Nach Poncet verschwinden bald die Arterien völlig, die Blutsäule in den Venen ist in unregelmässige Abschnitte getheilt (Gerinnsel?) und die Papille erscheint meist gefässlos und von weissgelblicher Farbe.

Innervation der Netzhautgefässe.

§ 34. Die Netzhautarterien stehen unter der Wirkung des Halssympathicus. Ich habe (schon vor längerer Zeit) am Kaninchen bei Reizung dieses Nerven deutliche Verengerung derselben beobachtet (ebenso auch der langen Ciliararterien), während an den Netzhautvenen keine Veränderung zu bemerken war.

Auch Schöler sah bei Sympathicusreizung an der Katze bedeutende Verengerung der Netzhautgefässe, fast bis zum Verschwinden des Lumens und

ein Blassserwerden des Augengrundes. Nach Exstirpation des *Gangl. cervicale supr.* waren die Arterien im Vergleich mit denen der anderen Seite entschieden erweitert, was auch längere Zeit nach der Operation anhielt. O. Becker betont, dass man nach Sympathicusdurchschneidung beim albinotischen Kaninchen nicht eine ähnliche starke Hyperämie in der Netzhaut findet, wie am Ohr; doch wollte es ihm scheinen, als wenn, besonders die feinsten Gefässe, breiter wären, auch konnte er hie und da hüpfende Bewegungen an der Eintrittsstelle der hinteren Ciliararterien wahrnehmen. Nach den positiven Ergebnissen der Reizung kann jedoch an dem Einfluss des Sympathicus nicht wohl gezweifelt werden. Ob die geringe Wirkung der Durchschneidung des Nerven auf den intraocularen Druck oder auf andere Ursachen zu beziehen ist, muss dahingestellt bleiben.

Auch nach Trigeminusdurchschneidung fand Schiff die Gefässe der Netzhaut beim Kaninchen erweitert, zugleich will er eine stärkere Röthung des Augengrundes bemerkt haben, besonders bei Meerschweinchen, die natürlich auf die Aderhautgefässe zu beziehen wäre. Bei Reizung der *Medulla oblongata* (des Trigeminusursprunges) sind nach v. Hippel und Grünhagen die Gefässe der Netzhaut verengert, was aber von ihnen durch Compression, in Folge der gleichzeitig beobachteten Steigerung des Augendruckes, erklärt wird. (Sie nehmen im Gegentheil eine active Erweiterung der Aderhautgefässe in Folge der Trigeminus-Reizung als Ursache der Drucksteigerung an.) Adamük hat bei Reizung des Halsmarkes im Bereich der beiden untersten Halswirbel an curarisirten Thieren Verengerung der Netzhautarterien bei starker Ausdehnung der Venen beobachtet. Die ganze Frage nach der Innervation der Netzhautgefässe möchte noch weiterer Prüfung bedürfen.

Anhangsweise kann hier noch angeführt werden, dass Adamük durch Chininwirkung die Netzhautgefässe bei Thieren sich verengern sah, und zwar die Venen mehr als die Arterien, zugleich mit Herabsetzung des intraocularen Druckes.

3. Abschnitt.

Die Circulationsverhältnisse des Aderhauttractus.

§ 35. Die ausserordentlich reiche Gefässentwickelung in der Aderhaut deutet darauf hin, dass diese Membran hauptsächlich für die Ernährung des Auges bestimmt ist und insbesondere dazu dient, die Flüssigkeit abzusondern, welche die natürliche Spannung desselben, den intraocularen Druck, unterhält.

Die Bedeutung der mannichfaltigen Formen und Besonderheiten, welche das Gefässsystem der Aderhaut aufweist, ist grossen Theils noch unbekannt, wie auch ihre Circulationsverhältnisse noch viel weniger als die der Netzhaut durch Beobachtungen und Versuche aufgeklärt sind. Im Folgenden sollen zuerst einige Eigenthümlichkeiten des Gefässverlaufs und hierauf dasjenige, was über ihre Circulation bekannt ist, besprochen werden.

Eigenthümlichkeiten des Gefässverlaufs im Aderhauttractus.

Verschiedenheit im Verhalten der zuführenden Arterien und der abführenden Venen.

§ 36. Die hinteren Ciliararterien verlaufen, ehe sie ins Auge eintreten, in eine bedeutende Anzahl kleiner Stämmchen getheilt, eine grosse Strecke weit unter starken Schlängelungen auf dem Sehnervenstamme hin; auch die vorderen Ciliararterien werden erst nach längerem Verlauf von den Muskelarterien abgegeben. Dem gegenüber bestehen die Abflüsse der Hauptsache nach aus wenigen starken Venen, die sich sehr rasch aus einer grossen Zahl von Aesten zusammensetzen; die Zuflüsse sind daher erschwert, die Abflüsse möglichst erleichtert. Ersteres scheint besonders deshalb von Wichtigkeit, weil der Druck in der *A. ophthalmica* noch ein verhältnissmässig hoher sein muss; durch die eingeschalteten Widerstände werden vorübergehende Schwankungen desselben abgeschwächt, so dass der davon abhängende intraoculare Druck leichter auf gleicher Höhe erhalten werden kann. Da andererseits die Existenz des intraocularen Drückes zu venösen Stauungen durch Compression der Venen Anlass geben könnte, so erklärt sich wieder die erwähnte Anordnung des Venenverlaufs, welche den Abfluss erleichtern muss.

Das Verhalten der Durchtrittsstellen von Arterien und Venen durch die Sklera.

§ 37. Die Durchtrittsstellen der *Aa. cil. long.* und der *Vv. vorticosae* bilden mehrere Millimeter lange, die Sklera schief von hinten aussen nach vorn und innen durchsetzende Kanäle, deren Wände besonders bei den Venen wegen der viel geringeren Dicke des äquatorialen Theils der Sklera dünn und schlaff sind. Roser hat die Vermuthung geäussert, dass hieraus Störungen für die Circulation erwachsen könnten, indem die dünnwandige Vene bei einer Steigerung des Augendruckes klappenartig zugepresst würde, worauf die dadurch entstehende venöse Stauung wieder eine neue Steigerung des Augendruckes hervorbringen müsste. Bei der dickwandigen, stärker gespannten Arterie braucht eine solche Störung nicht befürchtet zu werden.

Diese Vermuthung, welche ich früher selbst getheilt habe, scheint sich indessen durch die directe Beobachtung nicht zu bestätigen. Nach O. Becker entsteht durch Druck auf das Auge an den *Vv. vorticosae* albinotischer Kaninchen kein Venenpuls; ebenso wenig liess er sich (nach einer mündlichen Mittheilung Becker's) beim Menschen hervorrufen in einem Falle, wo eine Vortexvene anomal dicht neben dem Opticus in der Aderhaut zu sehen war. Auch die weiter unten anzuführenden Beobachtungen von Donders und von Waller sprechen dafür, dass bei verstärktem Druck das continuirliche Ausströmen des Blutes aus der Aderhaut fortdauert. Bei der anatomischen Untersuchung glaucomatöser Augen fand ich endlich die *Venae vorticosae* nicht blutleer oder verengert, sondern im Gegentheil stark mit Blut gefüllt. Es muss also trotz gesteigertem Drucke das

Lumen der Aderhautvenen offen bleiben, und vielleicht ist es gerade die Spannung der Sklera, welche dasselbe offen erhält.

Die starke Ausdehnung der auf der Sklera sichtbaren Stämmchen der vorderen Ciliarvenen bei dem chronisch entzündlichen Glaucom kann also nicht nach der gewöhnlich verbreiteten Ansicht durch collateral verstärkten Zufluss in Folge von Compresion der *Venae vorticosae* erklärt werden. Sie fehlt überdies bei dem *Glaucoma simplex* trotz der Drucksteigerung und kann auch, wenigstens in gewissem Grade, bei chronischen Entzündungen des Uvealtractus ohne Drucksteigerung vorkommen. Es ist demnach wahrscheinlicher, dass es sich um eine bleibend gewordene Ausdehnung dieser Venen nach häufig wiederholter und lange dauernder entzündlicher Hyperämie handelt.

Wenn man bedenkt, dass nach den Versuchen von Hensen und Völckers[1]) der vordere Abschnitt der Choroidea bis hinter den *Aequator bulbi* bei der Accommodation sich an der Innenfläche der Sklera verschiebt, so ergiebt sich hieraus die wahre Bedeutung des schiefen Durchtrittes der in diesem Bezirk in die Choroidea ein- und aus ihr austretenden Gefässe. Wird die Aderhaut durch die Contraction des Muskels nach vorn gezogen, so werden die Gefässe in ihren Emissarien eine gewisse Streckung erfahren, aber nicht beim Eintritt in die Sklera geknickt werden, wie dies sonst leicht geschehen könnte. Es stimmt hiermit überein, dass die im Bereich des Ciliarmuskels selbst durchtretenden vorderen Ciliargefässe diese Eigenthümlichkeit des Verlaufes ebenso wenig theilen, als die kurzen hinteren Ciliararterien; im Einklang hiermit bleibt eine in den Ciliarmuskel selbst eingestochene Nadel bei Reizung desselben unbewegt und in der Gegend des hinteren Poles ist die Choroidea bekanntlich ebenfalls durch die zahlreichen Gefässverbindungen keiner Verschiebung an der Innenfläche der Sklera fähig.

Die arteriellen und venösen Anastomosen des Aderhauttractus.

§ 38. Das verschiedene Verhalten der Aderhaut in Bezug auf die Vertheilung der Arterien und Venen, ihre Abgrenzung in ein vorderes und hinteres durch Anastomosen verbundenes arterielles Gebiet (Ciliarkörper-Iris — Choroidea), bei im Wesentlichen gemeinsamem venösem Abfluss, ist schon in dem anatomischen Theil geschildert worden.

Die aus verschiedenen Quellen kommenden arteriellen Zuflüsse der Aderhaut hängen, abweichend von der Netzhaut, theils durch einzelne Anastomosen, theils durch fortlaufende Gefässkränze zusammen. Besonders entwickelt sind dieselben überall, wo Muskeln vorkommen, welche durch ihre Contraction Störungen der Circulation hervorrufen könnten, also im Bereich der äusseren Augenmuskeln, dem des Ciliarmuskels und in der Iris. So finden sich, abgesehen von einzelnen Anastomosen, fortlaufende Verbindungen der vorderen Ciliararterien unter einander auf der Sklera nahe dem Hornhautrande; Verbindungen der vorderen und langen hinteren Ciliararterien durch den *Circ. art. iridis major* und *Circ. art. corp. ciliaris*; ferner zwischen diesen und den kurzen Ciliararterien durch die

1) Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Accomodation. Kiel 1868.

Rami recurrentes der Choroidea; Verbindungen der kurzen Ciliararterien unter sich durch den *Circ. arter. n. optici* etc. Die Aderhaut ist also, als Ganzes betrachtet, gegen Störungen im arteriellen Zufluss durch die zahlreichen Anastomosen vortrefflich geschützt. Im Ciliarkörper dürfte von Endarterien überhaupt kaum die Rede sein, da selbst die den Capillaren nahe stehenden Gefässe häufig anastomosiren; in der Choroidea dagegen, besonders in ihrem mittleren Abschnitt, hängen die feineren arteriellen Verzweigungen nur durch das Capillarnetz zusammen. Da aber die Capillargebiete der benachbarten arteriellen Gefässbäumchen in mannichfaltiger Weise in einander greifen, so wird eine Behinderung der Blutzufuhr selbst bei diesen wohl kaum von bleibenden Folgen für die Circulation des betroffenen Abschnittes sein.

Embolien der Aderhautarterien werden daher, sofern sie einfach mechanisch wirken, nicht leicht, und wohl nur bei gleichzeitiger Verstopfung mehrerer bedeutender Aeste, Circulationsstörungen nach sich ziehen. (Durch Autopsie sichergestellte Beobachtungen einfach mechanischer Embolien der Ciliararterien liegen bisher noch nicht vor.)

Auch die Venen der Aderhaut gehen sehr zahlreiche Verbindungen unter einander ein. Indessen finden sich stärkere Anastomosen eigentlich nur im hinteren Abschnitt der Choroidea in Form von zahlreichen starken Verbindungsschlingen zwischen den benachbarten *Venae vorticosae;* viel weniger im vorderen Abschnitt. Das feine Venennetz, welches im *Orbiculus ciliaris* die aus dem Ciliarkörper und der Iris zurückkehrenden Venen verbindet, steht im Caliber seiner Gefässe den Capillaren nahe, und es ist deshalb fraglich, ob grössere Störungen der Circulation sich durch dasselbe ausgleichen können.

Beim Kaninchen bringt Unterbindung einer *Vena vorticosa* eine auffallend umschriebene venöse Stauung in dem Capillargebiete derselben hervor. Besonders in dem entsprechenden Theil der Iris und der Ciliarfortsätze tritt eine enorm starke venöse Hyperämie auf, während die übrigen Theile des Umfangs sich daran gar nicht oder kaum betheiligen. Nach kurzer Zeit ist auch das Gewebe zwischen den Gefässen dicht und fast gleichmässig mit rothen Blutkörperchen durchsetzt, was nach Cohnheim's Versuchen über venöse Stauung[1]) wohl durch massenhafte Diapedesis rother Blutkörperchen, vielleicht auch theilweise durch Hämorrhagie bedingt ist. Beim albinotischen Kaninchen sieht man während des Lebens die Spitzen der gefüllten Ciliarfortsätze durch die Iris hindurchschimmern. Ausserdem treten als Folgen der Unterbindung eines Theiles oder aller *Venae vorticosae* bedeutende Steigerung des intraocularen Druckes und Oedem der Bindehaut auf.

Trotzdem beim Kaninchen, wie bei vielen anderen Säugethieren und abweichend vom Menschen, die *Venae vorticosae* dicht hinter dem Ciliarmuskel noch die Anastomosen des *Circulus venosus Hovii* unter einander eingehen, findet also in der ersten Zeit nach Unterbindung eines Theiles dieser Gefässe keine Ausgleichung statt. Erst vom dritten Tage an sah ich nach Unterbindung zweier *Venae vorticosae* die Hyperämie der Iris und das dieselbe begleitende Oedem der Bindehaut abnehmen und am vierten Tage völlig verschwinden. Nur die vorderen Ciliarvenen waren an dem entsprechenden Theil des Umfangs noch stark

1) Virch. Arch. XLI.

ausgedehnt. Beim Menschen, wo der *Circulus venosus Hovii* nicht vorkommt, wird vielleicht längere Zeit vergehen, bis ähnliche Störungen im Bereich der Iris und der Ciliarfortsätze sich ausgleichen.

Die vorderen Ciliarvenen stehen unter einander durch grössere Gefässbogen auf der Oberfläche der Sklera, durch das episklerale und sklerale Venennetz und durch den *Circulus venosus Schlemmii* in Verbindung.

§ 39. Die Bedeutung des *Circulus* oder *Plexus venosus ciliaris* ist noch nicht völlig sicher festgestellt. Da keine Venen der Iris direct in ihn übergehen, so kann er nicht, wie Fr. Arnold vermuthete, ein Reservoir für das Blut der Iris bei ihren wechselnden Contractionszuständen darstellen. Für den Ciliarmuskel, der einen Theil seiner Venen zu dem *Circ. venosus* gehen lässt, hat diese Meinung wenigstens anatomischen Boden, kann aber nur als Hypothese gelten.

In die vordere Augenkammer injicirte Flüssigkeiten gelangen rasch in die vorderen Ciliarvenen an der Oberfläche der Sklera, wobei sie den *Circulus venosus* passiren (Schwalbe), und zwar geschieht dies, wie ich (gegen Schwalbe) gezeigt habe, nicht durch offene Communication der vorderen Kammer mit Blutgefässen, sondern auf dem Wege der Diffusion. Es scheint demnach, dass der *Circulus venosus* die Resorption und den Abfluss des Kammerwassers vermitteln hilft. [1])

Die Capillarnetze des Aderhauttractus.

§ 40. Der Aderhauttractus enthält Capillarnetze von sehr verschiedenem Character. Die Choriocapillaris und das Netz der Ciliarfortsätze, das sich in viel geringerer Entwickelung auch noch etwas auf die Hinterfläche der Iris fortsetzt, scheinen mit einander im Wesentlichen übereinzukommen und für die Ernährung des Bulbusinneren im Allgemeinen und die Erhaltung des Augendruckes bestimmt zu sein. Nur ist das Gefässnetz der Ciliarfortsätze sehr viel stärker entwickelt, so dass diese offenbar das eigentliche secretorische Organ der Augenflüssigkeiten, speciell des *Humor aqueus*, darstellen.

Ausserdem enthält der Ciliarmuskel ein besonderes Capillarnetz, mit welchem das im *Sphincter pupillae* der Iris eine gewisse Aehnlichkeit hat; beide dienen wohl ausschliesslich der Ernährung dieser Muskeln. (Im Dilatator konnte ich dagegen keine Blutgefässe finden.)

---

1) Die mir erst nach Abschluss dieses Capitels zugehende 1. Abth. des I. Bandes dieses Handbuches enthält eine Darstellung dieser Verhältnisse von Waldeyer, welche sich (S. 233) völlig den Schwalbe'schen Angaben anschliesst. W. enthielt bei Injection frischer Menschen-, Rinder- und Schweinsaugen mit Alkannin-Terpentin und Richardson's kaltflüssigem Blau von der vorderen Kammer aus die vorderen Ciliarvenen gefüllt. Ich muss dem gegenüber den von Riesenfeld und mir angestellten Versuch als entscheidend ansehen, wobei es beim Hund und Kaninchen gelang, eine Mischung von Berlinerblau- und Carminlösung durch Injection in die vordere Kammer zu trennen, so dass nur das Carmin in die vorderen Ciliarvenen durchdrang, das Berlinerblau zurückgehalten wurde.

Circulation der Aderhautgefässe und Einfluss äusseren Druckes auf dieselbe.

§ 41. Beim albinotischen Kaninchen sah R. Liebreich den Blutlauf in den *Venae vorticosae* mit dem Augenspiegel; er erfolgte nach ihm mit reissender Schnelligkeit und ungleichmässig, so dass häufig einzelne Gefässe wegen geringeren Blutzuflusses erblassten; in kurzen Anastomosen änderte der Strom zuweilen seine Richtung. Beim Menschen liegt noch keine Beobachtung darüber vor.

Waller untersuchte die Aderhautcirculation mit dem Mikroscop an luxirten Augen albinotischer Thiere. In den langen Ciliararterien und den Arterien der Iris war sie gewöhnlich zu rasch, um wahrgenommen zu werden. Durch leichten Druck auf das Auge verlangsamte sich aber der Strom und konnte dann bequem bis in die Arterien und Venen der Iris verfolgt werden. Bei stärkerem Druck kehrte er sich in den Arterien um, das Blut floss rückwärts dem Herzen zu, was bei gleichmässigem Druck zuweilen eine Minute lang anhielt. Zugleich erfolgte eine starke Verengerung der Gefässe, die Capillaren wurden unsichtbar und die Venen glichen farblosen, durchsichtigen Röhren. Mit dem Augenspiegel sah Donders beim Albinokaninchen gleichfalls starke Verengerung der Choroidalgefässe während des Druckes und beträchtliche Ausdehnung der Venen beim Aufhören desselben. O. Becker konnte durch Druck auf das Auge bei demselben Thier zwar Pulsation der hinteren Ciliararterien, aber kein Erblassen der *Venae vorticosae* erzielen.

Es scheint also, dass in der Aderhaut bei mässig gesteigertem Druck die Bedingungen für ein continuirliches Ausströmen des Venenblutes günstiger sind als in der Netzhaut.

Spontane Pulsation wurde von A. Weber in der Iris an dem *Circ. arterios.* bei Hunden beobachtet. Wegner sah an den Arterien der Iris des Kaninchens ähnliche spontane Schwankungen des Durchmessers, wie sie von Bernard und van der Beke Callenfels an denen des Ohrs bei dem gleichen Thier beschrieben worden sind. Die Verengerung der Arterie erfolgte 3—7mal in der Minute und war weder mit dem Puls noch mit der Respiration synchronisch.

Für die Sicherung des venösen Abflusses scheint das gegenseitige Lagerungsverhältniss von Arterien und Venen im hinteren Abschnitt der Choroidea von Bedeutung.

Beiderlei Gefässe haben hier annähernd dieselbe Richtung, durchkreuzen sich unter spitzen Winkeln und durchflechten sich so innig, dass eine gegenseitige Einwirkung nicht unwahrscheinlich ist. Da nun der Blutstrom in beiden gleichgerichtet ist und bei Arterien und Venen von hinten nach vorn geht, so würde bei einer Ausdehnung der Arterien das Blut aus den feineren Verzweigungen der Venen in die gröberen vorwärts getrieben und ein vermehrter Abfluss bewirkt werden. Eine Ausdehnung der Venenstämme würde umgekehrt den arteriellen Zufluss beschränken müssen. Doch bedarf es noch experimenteller Prüfung, ob die Gefässe wirklich einen gegenseitigen Druck in der angegebenen Weise auf einander ausüben.

Einfluss von Störungen des Kreislaufs auf die Gefässe des Aderhauttractus.

§ 42. Die oben über die relative Unabhängigkeit der Netzhautgefässe von grösseren Kreislaufsstörungen gemachten Angaben gelten wenigstens theilweise auch für die Gefässe der Aderhaut; dagegen scheinen die der Iris etwas mehr beeinflusst zu werden. Nach Compression oder Unterbindung beider Carotiden bei Albinokaninchen sah Kussmaul zwar in der Mehrzahl der Fälle Erblassen der Iris und der Bindehaut, aber niemals des Augengrundes. Nur bei Unterbrechung des gesammten, zur oberen Körperhälfte gehenden arteriellen Stromes, wurde auch der Augengrund heller und zuletzt ganz blass, während der grosse Iriskranz allmählig sein Blut verlor. Bei Nachlass der Compression trat eine stärkere Füllung der Gefässe ein, als vor Beginn des Versuchs. Bei Mittheilung seiner Experimente über die Unterbindung der Jugularvenen sagt Kussmaul Nichts von einer dabei bemerkten Hyperämie der Iris und des Augengrundes, sondern nur von Hyperämie der Bindehaut; Memorsky giebt bestimmt an, dass Unterbindung der Jugularvenen und selbst Compression beider *Venae anonymae* oder der *V. cava superior* keine stärkere Röthung des Augengrundes hervorbringt. A. Weber, welcher diese Angaben bestätigt, fand doch einen grösseren Einfluss auf die Gefässe der Iris; der *Circ. arter. iridis major*, dessen Pulsationen bei grösseren Hunden ohne Vergrösserung deutlich wahrzunehmen sind, soll bei Unterbindung und Compression schon einer Carotis collabiren, bei Unterbindung der *Venae jugulares* dagegen anschwellen und stärker pulsiren. (Vergl. auch §§ 55 und 56.)

Zusammenhang zwischen der Wirkung des intraocularen Muskelapparates und der Circulation des Aderhauttractus.

1. Einfluss des Ciliarmuskels auf die Gefässe der Ciliarfortsätze.

§ 43. Nach Coccius erfolgt bei der Accommodation für die Nähe eine Vorwärtsbewegung und Anschwellung der Ciliarfortsätze, von denen die letztere einen Augenblick später beginnt als die erstere. Bei der Accommodation für die Ferne treten die Fortsätze wieder zurück und nehmen ihre frühere Grösse wieder an. Coccius schätzt die Anschwellung auf $1/_6$ des Volums. Diese an iridektomirten Augen gemachten Beobachtungen scheinen den früheren von O. Becker direct zu widersprechen, welcher an albinotischen Menschenaugen durch die Iris hindurch bei der Accommodation für die Nähe ein Zurücktreten der Fortsätze beobachtet haben wollte. Der Widerspruch lässt sich aber ziemlich beseitigen, wenn man berücksichtigt, dass trotz dem Vorrücken der Ciliarfortsätze beim Nahesehen nach Coccius ihr Abstand vom Linsenrande grösser wird, weil sich zugleich der Aequatorialdurchmesser der Linse, und zwar in höherem Masse verkleinert. Es scheint, dass Becker die Zunahme des Abstandes zwischen Ciliarfirsten und Linsenrand als Zurücktreten und Abschwellen der Fortsätze gedeutet hatte.

Während demnach nicht wohl zu bezweifeln ist, dass bei der Accommodation für die Nähe ein Einwärtsrücken des Linsenrandes und wohl auch ein Vorrücken der Ciliarfortsätze stattfindet, so möchte doch angesichts der widersprechenden Angaben beider Beobachter die am schwierigsten sicher festzustellende Anschwellung der Fortsätze beim Nahesehen noch weiterer Bestätigung bedürfen.

Coccius schliesst aus seinen Beobachtungen, dass die Ciliarfortsätze bei der Contraction des Ciliarmuskels hyperämischer werden, und zwar soll die Anschwellung durch eine Behinderung des venösen Rückflusses hervorgebracht werden. Indessen lässt sich bei dem Verlauf der Gefässe im Ciliarkörper nicht verstehen, wie auf einfach mechanischem Wege die Contraction des Ciliarmuskels eine Stauung in den Ciliarfortsätzen hervorbringen kann. Wenn überhaupt der Muskel, was dahingestellt bleibt, eine mechanische Wirkung auf die Gefässe der Ciliarfortsätze ausübt,* so könnte dieselbe nur in einer Compression bestehen, da die Muskelfasern nirgends radiär zum Gefässquerschnitt gerichtet sind. Die Compression könnte aber nur die Arterien treffen, welche allein durch den Muskel hindurchtreten, während die Venen der Ciliarfortsätze und der Iris ganz an der inneren Fläche des Ciliarkörpers verlaufen und somit der Wirkung des Muskels entrückt sind. (Vergl. Fig. 1 auf S. 305.) Auch eine Compression dieser Venen an den Wurzeln der Ciliarfortsätze durch einen nach innen gegen den Glaskörper gerichteten Druck, wie Coccius annimmt, scheint nach der Zugrichtung der Muskelbündel nicht gut denkbar. Falls demnach die Beobachtung von Coccius beim Menschen über das Anschwellen der Ciliarfortsätze bei der Accommodation für die Nähe sich bestätigt, so müsste dafür eine andere Erklärung gefunden werden. Uebrigens hat Waller an luxirten Augen kleiner albinotischer Thiere, deren Gefässe er mit dem Mikroscop beobachtete, weder durch elektrische Reizung des Auges, noch durch Belladonna eine Veränderung im Füllungszustande der Ciliarfortsätze beobachtet. Er widerlegte dadurch auch die Behauptung von Rouget und Anderer, dass die Formveränderung der Linse durch directen Druck von Seiten der eine Art von Erection erfahrenden Ciliarfortsätze zu Stande komme. Uebrigens sind diese und ähnliche Accommodationstheorien schon deshalb unhaltbar, weil durch Beobachtung am lebenden Menschenauge bei allen Accommodationseinstellungen ein Zwischenraum zwischen Linsenrand und Ciliarfortsätzen nachgewiesen ist (O. Becker, Coccius). (Ueber die Wirkung des Atropins siehe noch § 47.)

2. Einfluss der Bewegungen der Iris auf ihren Blutgehalt.

§ 44. Schöler giebt an, dass bei der Katze der während des Lebens leicht sichtbare grosse Iriskranz bei Verengerung der Pupille anschwillt, bei Erweiterung abschwillt. Es stimmt diese Beobachtung mit der gewöhnlichen Annahme, dass die Iris bei verengter Pupille mehr Blut aufnehmen könne als bei erweiterter, dass also bei den Irisbewegungen ein fortwährender Wechsel in ihrem Blutgehalt stattfinden müsse. Bliebe bei Erweiterung der Pupille der Blutgehalt unverändert, so müsste die Iris um so viel dicker werden, als sie an Oberfläche verliert, nach Stellwag's Berechnung bei maximaler Erweiterung um mehr als das Dreifache. Stellwag glaubt, dass dies nicht annehmbar sei; dagegen hat Schneller an iridektomirten Augen bei Pupillarerweiterung durch Atropin eine

Dickenzunahme der Iris wirklich beobachtet und ist der Ansicht, dass dieselbe ausreichte, um die Verkleinerung der Oberfläche zu compensiren. Es sind also hierüber noch weitere Beobachtungen abzuwarten.

3. Einfluss des Blutgehaltes der Iris auf die Weite der Pupille.

§ 45. Die Verengerung und Erweiterung der Pupille geschieht durch die Contraction des *Sphincter* und *Dilatator pupillae* (von welchen die Existenz des letzteren jetzt auch als anatomisch festgestellt betrachtet werden kann) und nicht durch wechselnden Blutgehalt, wie früher von manchen Autoren angenommen wurde. Einige Beobachtungen scheinen dafür zu sprechen, dass auch der Blutgehalt der Iris einen, wenn auch untergeordneten Einfluss auf die Weite der Pupille ausübt, dass also auch ein umgekehrtes Abhängigkeitsverhältniss zwischen beiden stattfindet, wie das oben besprochene; doch unterliegt die Beweiskraft dieser Beobachtungen zum Theil erheblichen Einwänden.

Nach Abfluss des Kammerwassers erfolgt wegen des aufgehobenen Augendruckes eine bedeutende Hyperämie der Iris und gleichzeitig starke Verengerung der Pupille. Da letztere auch nach vorheriger Lähmung des *Sphincter pupillae* durch Atropin und nach Hensen und Völckers auch nach Durchschneidung der Ciliarnerven eintritt, wodurch die Wirkung der Irismusculatur ausgeschlossen wird, so scheint als Ursache nur der vermehrte Blutgehalt und die dadurch bedingte Zunahme des Irisvolums übrig zu bleiben. Dem wiederspricht aber die Angabe von Manz (Virchow-Hirsch's Jahresb. f. 1873 II. S. 500), dass zuweilen auch an der Leiche durch raschen Abfluss des Kammerwassers eine eben so rasche Pupillencontraction eintrete.

Durch Wiedereinspritzen des mit einer Pravaz'schen Spritze ausgesogenen Kammerwassers wird nach Hensen und Völckers die verengerte Pupille wieder weiter, doch liess sich auf diesem Wege keine beträchtliche Erweiterung erzielen. Am todten Auge erhielt Schöler durch Injection von Wasser in die vordere Kammer maximale Pupillarerweiterung. Dagegen konnte Waller bei Druck auf das Auge an lebenden Thieren, trotz erheblicher Verengerung der Gefässe, nicht die mindeste Veränderung in der Weite der Pupille wahrnehmen. Eben so wenig bewirkt nach Kuyper Reizung des Vagus bis zum Herzstillstand oder Unterbindung desselben eine Veränderung in der Weite der Pupille.

Nicht beweisend für den Zusammenhang zwischen Blutgehalt der Iris und Weite der Pupille sind ferner diejenigen Versuche, wo erhebliche Störungen im Kreislauf hervorgerufen werden, welche zugleich den Blutgehalt des Gehirns beeinflussen (Kussmaul), weil die dabei beobachteten Veränderungen der Pupillenweite in Reizung oder Lähmung der Centren der Irisnerven ihre Ursache haben können. Auch die maximale Verengerung der Pupille, welche Schöler durch Injection von defibrinirtem Blut in die Carotis der Katze erhielt, bei gleichzeitiger starker Füllung der Irisgefässe, Hyperämie der Sklera und bedeutender Härte des Bulbus, ist vielleicht durch Reizung der pupillenverengernden Nerven an welchem Orte immer zu erklären.

Ueber den Einfluss von Injectionen der Blutgefässe auf die Weite der Pupille beim todten Auge sind die Angaben verschieden.

Gaddi[1]) hatte früher angegeben, dass bei Injection der Blutgefässe des Auges an der Leiche Verengerung der Pupille eintritt, worauf Brown-Séquard[2]) bemerkt, dass er am Kaninchen und Meerschweinchen bei Injection der *A. ophthalmica* nur eine kaum merkliche Verengerung der Pupille erhalten habe. Schöler[3]) sah sogar bei Wasserinjectionen in die Carotis der Katze nach dem Tode gar keine Veränderung im Durchmesser der Pupille eintreten. Im Widerspruch hiermit versichert Rouget[4]), in mehr als 30 Fällen bei Menschen und Thieren mit Sorgfalt constatirt zu haben, dass die vorher erweiterte Pupille durch eine vollständige Injection der Gefässe um $^1/_3$ und selbst die Hälfte verengert werden kann. Man wird demnach wohl nicht an dieser Thatsache zweifeln können, da positive Resultate hier mehr beweisen als negative, und es wird deshalb auch für das lebende Auge dieselbe Möglichkeit zuzugeben sein. Nur bleibt hier immer noch die andere Möglichkeit bestehen, dass die Hyperämie gleichzeitig auf physiologischem Wege die Irisnerven beeinflusst.

Nach Hensen und Völckers macht die Pupille sehr kleine, mit dem Puls und der Respiration synchronische Schwankungen, die durch wechselnden Blutgehalt der Iris erklärt werden, und auf entoptischem Wege nachzuweisen sind.

Einfluss der Nerven auf die Aderhautgefässe.

§ 46. Die Gefässe der Aderhaut stehen, wie die Mehrzahl der Gefässe des Kopfes, und wie auch die Gefässe der Retina, unter der Wirkung des Halssympathicus, zugleich aber unter der des Trigeminus, welcher wahrscheinlich wenigstens einen Theil seiner vasomotorischen Fasern vom Sympathicus zugeführt erhält. — Am besten ist die Wirkung dieser Nerven auf die Gefässe der Iris untersucht.

Die Wirkung des Halssympathicus erstreckt sich also nicht nur auf die pupillenerweiternden Fasern der Iris, sondern auch auf ihre Gefässe, welche demnach dasselbe Verhalten zeigen, wie dies für die Gefässe des Kopfes überhaupt und insbesondere für die des Ohres durch Cl. Bernard's Entdeckung bekannt ist. Es wird dies übereinstimmend von verschiedenen Beobachtern angegeben, Kuyper, Hamer, Wegner, Salkowski und nur von Schiff in Abrede gestellt. Am leichtesten ist die Verengerung der Gefässe durch Reizung des Nerven zu beobachten, besonders wenn die Gefässe vorher erweitert sind, während die Gefässerweiterung in Folge von Sympathicusdurchschneidung oft weniger hervorzutreten scheint. Kuyper sah die Verengerung durch Reizung des Halssympathicus sehr deutlich, wenn die Gefässe vorher durch Einträufeln von Digitalinlösung oder durch Entleerung des Kammerwassers erweitert waren. Die Gefässverengerung trat dabei ein, obwohl sich die Pupille wegen der Reizung der Iris weniger erweiterte als sonst. Selbst nach Einwirkung von Calabarextract, wobei die Sympathicusreizung kaum eine Erweiterung der Pupille her-

---

1) Ann. d'Ocul. XXII. 1849. p. 163—166 (Referat von Brown-Séquard). — Il raccoglitore med. 1845.

2) Ibid.

3) Exper. Beitr. z. Kenntn. d. Irisbewegung. S. 53.

4) Compt. rend. et Mém. de la Soc. de Biolog. 1856. p. 180.

vorbrachte, stellte sich nach Donders und Hamer die Verengerung der Irisgefässe in derselben Weise ein. Es beweist dies, dass die Wirkung des Sympathicus auf die Gefässe der Iris unabhängig ist von seinem Einfluss auf die Pupille, was übrigens auch schon daraus hervorgeht, dass die Gefässverengerung nicht auf die Iris beschränkt ist, sondern nahezu die ganze Kopfhälfte betrifft. Auch hat zuerst Waller und später Arlt jun. gezeigt, dass die Verengerung der Gefässe merklich später beginnt als die Erweiterung der Pupille. Bei jungen Albinokaninchen konnte überdies Wegner die Erweiterung der Irisgefässe nach Durchschneidung und die Verengerung derselben während der Reizung des Halssympathicus ohne weiteres sicher beobachten. Salkowski stellte fest, dass auch halbseitige Durchschneidung des Halsmarkes Erweiterung der Irisgefässe derselben Seite bewirkt. Nach Budge entspringen sowohl die vasomotorischen als die pupillenerweiternden Fasern des Halssympathicus im Rückenmark und verlassen dasselbe durch die vorderen Wurzeln der beiden unteren Hals- und der beiden oberen Brustnerven. Salkowski bestätigte für das Kaninchen die letztere Angabe gegenüber Cl. Bernard, welcher das Centrum der vasomotorischen Fasern in die Ganglien des Sympathicus versetzt hatte, fand aber in Uebereinstimmung mit Schiff gegen Budge, dass das Centrum nicht im Rückenmark selbst, sondern wahrscheinlich in der *Medulla oblongata* zu suchen ist, da auch Durchschneidung des Rückenmarkes zwischen Atlas und Hinterhaupt Erweiterung der Ohrgefässe zur Folge hat.

Auch die in der Choroidea verlaufenden hinteren Ciliararterien verengern sich auf Sympathicusreizung, wovon sich schon Wegner überzeugt zu haben glaubte und was ich bestätigen kann. Nach Dmitrowsky beschränkt Sympathicusreizung das Ausfliessen des Blutes aus den an der Oberfläche der Sklera durchschnittenen *Venae vorticosae*, hebt es aber nicht völlig auf. Nach Sympathicusdurchschneidung strömte das Blut in reichlichem Strahle wieder hervor.

§ 47. Was die Wirkung des Trigeminus auf die Gefässe des Auges angeht, so muss man die allmählig entstehende und viel stärkere entzündliche Hyperämie von der als unmittelbare Folge der Durchschneidung auftretenden neuroparalytischen Gefässerweiterung unterscheiden. Die Entzündung lässt sich, wie Snellen und noch überzeugender Büttner und Meissner gezeigt haben, verhüten, wenn alle äusseren Schädlichkeiten vollständig von dem Auge abgehalten werden; mit der Entzündung bleibt dann auch die Injection der Bindehautgefässe aus oder ist nur höchst unbedeutend.

Dagegen tritt als unmittelbare Folge der Durchschneidung Erweiterung der Irisgefässe ein, die nach Schiff schon einige Minuten nach der Durchschneidung beginnt und bald noch erheblich zunimmt.

Wegner erhielt, wenn er bei Kaninchen auf der einen Seite den Trigeminus und auf der anderen den Halssympathicus durchschnitt, beiderseits Erweiterung der Irisgefässe; dieselbe war auf beiden Seiten gleich stark, nur in manchen Fällen anfangs auf der Seite der Trigeminusdurchschneidung stärker, doch verlor sich der Unterschied bald, indem die Hyperämie auf der letzteren Seite etwas zurückging. Reizung des Halssympathicus brachte auf der Seite, wo der Trigeminus

durchschnitten war, keine Verengerung der Irisgefässe mehr hervor, die Hyperämie blieb bestehen.

Die gefässverengernden Fasern oder wenigstens ein Theil derselben gelangen also vom Sympathicus zum Auge in der Bahn des Trigeminus.

Sie scheinen in der Schädelhöhle an der innern Seite des *N. trigeminus* zu liegen, denn in einem Falle von unvollständiger Durchschneidung des Nerven, wo die Gefässnerven gelähmt, aber nur die Conjunctiva und Cornea anästhetisch waren, fand Wegner, dass der Schnitt aussschliesslich die zumeist nach innen gelegenen Bündel des Nerven getroffen hatte. (Dieselbe Partie des Nerven war bei einem Versuch von Meissner verletzt, wo nach der Durchschneidung nur neuroparalytische Keratitis, aber gar keine Anästhesie aufgetreten war.) — Dass auf Trigeminusdurchschneidung in der Schädelhöhle unmittelbar starke Hyperämie der Iris folgt, habe ich bei albinotischen Kaninchen wiederholt beobachtet, ebenso auch schon früher Snellen und v. Hippel und Grünhagen.

Schiff hält den *N. trigeminus* für den einzigen Gefässnerven der Iris und konnte sich weder beim Hund noch Kaninchen von dem Einfluss der Sympathicusdurchschneidung auf die Irisgefässe überzeugen. Doch dürfte dieser Punct durch die oben angeführten Versuche hinreichend sicher gestellt sein.

Dieselben Folgen, wie durch Trigeminusdurchschneidung erhielt Schiff durch halbseitige Durchschneidung des verlängerten Markes.

Er glaubt nach Trigeminusdurchschneidung auch eine stärkere Röthung des Augengrundes beobachtet zu haben, was dafür sprechen würde, dass auch die Aderhautgefässe vom Trigeminus beherrscht werden.

Gerade umgekehrt vermuthen v. Hippel und Grünhagen Erweiterung der Aderhautgefässe bei Trigeminusreizung, weil sie dabei den intraocularen Druck bedeutend ansteigen sahen. Sie haben aber, soviel ich sehe, das Verhalten der Aderhautgefässe nicht direct beobachtet.

(Ueber die Folgen der Trigeminus-Durchschneidung für die Hornhaut s. § 73.)

Einfluss der Mydriatica auf die Gefässe des Aderhauttractus.

§ 48. Während an den Netzhautgefässen bisher durch Atropin keine Veränderung mit Sicherheit nachgewiesen ist (vergl. § 31), zeigt sich nach Atropineinträuflung in den Bindehautsack bei albinotischen Kaninchen eine deutliche Ausdehnung der Irisgefässe (Wegner, Coccius). Nach letzterem Beobachter bringt das Atropin bei Iritis, sowohl an Thieren als Menschen, nach einiger Zeit eine auffällige Verengerung und ein Verschwinden der vorher ausgedehnten Gefässe der Iris hervor; im Anfang der Wirkung zeigt sich aber immer, auch bei ganz normaler Iris, eine vermehrte Röthung. Dieselbe tritt besonders durch Vergleichung mit dem anderen, nicht atropinisirten Auge hervor und hält etwa 24 Stunden an. Mir schien dabei auch die Haut der Lider etwas mehr geröthet als die der anderen Seite, weshalb ich glauben möchte, dass es sich um eine directe Wirkung des Mittels auf die Blutgefässe handelt und nicht um eine mittelbare durch die Pupillarerweiterung, wie Coccius vermuthet. Nach diesem Forscher soll die Irishyperämie dadurch entstehen, dass die Iris bei erweiterter Pupille weniger Blut aufnehmen

kann, weshalb sie im Anfang, ehe der Blutgehalt sich vermindert hat, hyperämischer erscheinen müsse. Auch beim Menschen habe ich öfters eine leichte Röthung der Lidhaut und Conjunctiva nach Atropineinträuflungen bemerkt (die sich in seltenen Fällen zu dem als Atropinreizung bekannten Zustand steigert).

Hiermit steht im Einklang, dass WEGNER nach subcutaner Atropininjection am Ohr des Kaninchens eine starke Erweiterung der Gefässe dieses Organes beobachtet hat.

Die gefässverengernde Wirkung des Atropins scheint nur bei Entzündungen des Auges und besonders der Iris aufzutreten, welche durch dieses Mittel zu einer raschen Rückbildung gebracht werden können.

Erweiterung der Aderhautgefässe durch Atropin will SCHNELLER mit dem Augenspiegel beobachtet haben. Die von ihm benutzte mikrometrische Messungsmethode lässt aber, wie MEMORSKY gezeigt hat, so erhebliche Einwände zu, dass die Richtigkeit der Beobachtungen noch dahinsteht. Sollten sich dieselben bestätigen, so würde noch zu entscheiden sein, ob das Atropin, wie für die Iris vermuthet wurde, direct auf die Gefässe wirkt, oder mittelbar, wie SCHNELLER angenommen hat, durch Lähmung der intraocularen Muskeln und dadurch bedingte Herabsetzung des Augendruckes (s. auch unten § 59 über die Wirkung des Atropins auf den intraocularen Druck).

4. Abschnitt.

Die Circulationsverhältnisse der äusserlich sichtbaren Gefässe des Auges.

§ 49. An dem von Bindehaut überzogenen und der directen Beobachtung zugänglichen vorderen Theil des Augapfels unterscheidet man während des Lebens zwei Gefässschichten, die conjunctivalen und die subconjunctivalen oder episkleralen Gefässe, deren Ursprung und Verlauf oben beschrieben worden ist. Von den Gefässen der Skleralbindehaut sind fast nur die aus der Uebergangsfalte herkommenden hinteren Bindehautgefässe während des Lebens als kleine, mehr oder minder geschlängelte, baumförmig verzweigte Aederchen von zinnoberrother Farbe sichtbar. Erst mit der Loupe oder dem Mikroscop bemerkt man, dass sich feine Arterien und gröbere Venen regelmässig begleiten, und es gelingt selbst, mit Hülfe des Mikroscops, bei Menschen und Thieren die Blutcirculation in denselben wahrzunehmen (DONDERS).

Die von den Ciliargefässen am Hornhautrande abgegebenen vorderen Bindehautgefässe sind so fein, dass am normalen Auge gewöhnlich nur einige wenige von ihnen wahrgenommen werden; nur bei Reizung des Auges treten sie deutlicher hervor.

Am meisten fallen die vorderen Ciliararterien auf der Oberfläche der Sklera ins Auge, die an ihrem Hervortreten an den Insertionsstellen der geraden Augenmuskeln, an ihrem meistens stark geschlängelten Verlauf, an der geringen Zahl ihrer Aeste und dem plötzlichen Aufhören der *Rami perforantes* leicht zu erkennen sind. Sie haben zum Unterschied von den Bindehautgefässen eine mehr carminrothe Färbung (wegen der Bedeckung durch die weisslich trübe Bindehaut) und lassen sich nicht, wie die letzteren, mit der Bindehaut hin und her verschieben.

Arterien und Venen können dadurch von einander unterschieden werden, dass man durch Druck mit dem Lide das Gefäss blutleer macht und zusieht, von welcher Seite her es sich wieder füllt; überdies ist bei den Arterien auch das Blut nur mit Mühe wegzudrücken, während dies bei den Venen leicht gelingt.

Die vorderen Ciliarvenen sind wegen ihrer Feinheit im normalen Zustande nur wenig oder gar nicht sichtbar, treten aber bei Reizung des Auges, indem sie sich erweitern, deutlich hervor. Es genügt schon wiederholtes Reiben der Oberfläche des Auges mit dem Lide, um diese Gefässe so stark zu erweitern, dass sie leicht mit blossem Auge zu erkennen sind, während die Ausdehnung des episkleralen Netzes einen rosenfarbenen Ring um den Hornhautrand herum bildet; auch die Bindehautgefässe betheiligen sich an der Ausdehnung. Besonders deutlich zeigt sich diese Erscheinung, wenn das Auge durch einen eingedrungenen fremden Körper gereizt wird. Obgleich sich wohl auch die Arterien, besonders im Anfang, mit erweitern, so hängt doch Aussehen und Form der Injection wesentlich von der Ausdehnung der feinsten Venen ab.

Einfluss der Nerven auf die äusserlich sichtbaren Gefässe.

§ 50. Reizung des Halssympathicus bewirkt nach Waller Verengerung, Durchschneidung desselben Erweiterung der Bindehautgefässe. Die Verengerung erfolgt fast eben so schnell als die Erweiterung der Pupille, während sie an den Gefässen des Ohres merklich später eintritt. Die Erweiterung nach Sympathicusdurchneidung finde ich auch von Cl. Bernard angegeben, Salkowski beobachtete sie auch nach Ausreissen des oberen Halsganglions. Schwieriger ist die Wirkung des Trigeminus auf die äusseren Gefässe zu beurtheilen wegen der nach einiger Zeit sich einstellenden Complication mit neuroparalytischer Entzündung. Unmittelbar nach der Durchschneidung tritt jedenfalls nur eine sehr geringe, ohne Vergleichung mit dem anderen Auge nicht abnorm erscheinende Erweiterung der Gefässe auf der Oberfläche der Sklera ein. Ich habe wiederholt einen sehr geringen Unterschied in der Weite der Gefässe zwischen beiden Augen beobachtet, es blieb aber zweifelhaft, ob derselbe als Folge der Durchschneidung oder der zur Prüfung der Empfindlichkeit vorgenommenen Betastung der Hornhaut anzusehen war. v. Hippel und Grünhagen fanden unmittelbar nach Durchschneidung die Conjunctiva etwas geröthet und gleichzeitig die Iris stark hyperämisch. Selbst diese leichte Ausdehnung der äusseren Gefässe scheint aber bald wieder zurückzugehen, wenn das Auftreten von Entzündung verhütet wird, wenigstens konnte Büttner einige Zeit nach der Durchschneidung nicht den mindesten Unterschied zwischen beiden Augen erkennen, wenn das Auge bis dahin durch eine Glaskapsel vor allen äusseren Einflüssen sorgfältig geschützt worden war. Wenn Keratitis eintritt, so entwickelt sich dagegen allmählig eine sehr hochgradige Hyperämie der äusseren Gefässe, welche aber auf die Entzündung als Ursache zurückzuführen ist (s. unten).

Schiff giebt noch an, dass nach halbseitiger Durchschneidung der *Medulla oblongata* die Bindehaut in den ersten 24 oder 48 Stunden mehr geröthet ist, als auf der andern Seite und bezieht dies gleichfalls auf die Zerstörung des Trigeminusursprungs.

5. Abschnitt.

Der intraoculare Druck.

§ 51. Der Augapfel stellt eine grösstentheils mit Flüssigkeit erfüllte, elastische Kapsel dar, deren Wände und Inneres unter einem gewissen Drucke stehen, welcher als intraocularer oder Augendruck bezeichnet wird. Die Höhe dieses Druckes oder die Grösse der Spannung der elastischen Kapsel hängt natürlich von dem Inhalte der letzteren ab, wird also hauptsächlich beeinflusst einerseits von dem Volum des Glaskörpers und *Humor aqueus*, andererseits von dem Füllungszustande der in der Augenkapsel eingeschlossenen Gefässe.

Das Innere der Bulbuskapsel zerfällt in zwei verschieden gestaltete und ungleich grosse Räume: den viel umfangreicheren Glaskörperraum und den weit kleineren Raum der wässrigen Feuchtigkeit, welcher sich der Hauptsache nach wieder in zwei communicirende Räume scheidet, die vordere und hintere Augenkammer, die durch die Pupille untereinander zusammenhängen.

Der Glaskörperraum ist zwar nicht mit einer Flüssigkeit, sondern mit einem Gewebe ausgefüllt, das aber für die hier in Frage kommenden Verhältnisse wegen seiner gallertartigen, nahezu flüssigen Beschaffenheit ohne merklichen Fehler als Flüssigkeit angesehen werden kann. Druckschwankungen an einer Stelle des Glaskörperraumes werden sich, ebenso wie im Raume der wässrigen Feuchtigkeit und wie überhaupt in einer elastischen, mit Flüssigkeit erfüllten Kapsel, rasch nach allen Seiten ausbreiten, so dass gleich darauf wieder an jeder Stelle des Inhaltes derselbe Druck herrscht. Ob die Fortpflanzung kleiner Druckschwankungen im Glaskörper wegen seiner nicht vollkommen flüssigen Beschaffenheit einen gewissen Widerstand findet, muss noch dahingestellt bleiben.

Die beiden grossen Räume des Bulbus werden von einander geschieden durch das Linsensystem und dessen Verbindung mit dem Ciliarkörper, den vorderen Theil der Hyaloidea und die *Zonula ciliaris*.

Der Druck in jedem derselben muss nicht nothwendiger Weise und nicht immer gleich hoch sein, weil das sie trennende Diaphragma einer gewissen Spannung fähig ist. Geräth nämlich dieses Diaphragma in Spannung, so muss es einen Theil des Druckes tragen und derselbe wird dann auf der einen Seite höher sein als auf der anderen. Dieselbe Druckdifferenz muss dann aber in dem ganzen vor oder hinter dem Diaphragma gelegenen Bulbusabschnitt herrschen, weil alsdann sowohl der Glaskörperraum als der Raum der wässrigen Feuchtigkeit jeder für sich eine elastische, mit Flüssigkeit gefüllte Kapsel darstellt, innerhalb welcher der Druck überall gleich sein muss.

Doch scheinen wenigstens im physiologischen Zustande keine grossen Verschiedenheiten des Druckes in beiden Räumen vorzukommen. Adamük konnte bei vergleichenden Messungen an Thieren mittelst je eines in die vordere Kammer und in den Glaskörper eingeführten Manometers keinen Unterschied des Druckes nachweisen. Auch fand Monnik bei Einpressen von Wasser in den Glaskörperraum an frisch exstirpirten Augen, dass der Druck in der vorderen Kammer gleich-

zeitig mit dem Glaskörperdruck anstieg und dass das beide Räume trennende Diaphragma auch bei sehr hoher Spannung nicht mehr als etwa 1—3 Mm. Hg Druck von derselben trug.

Die meisten Untersuchungen des intraocularen Druckes sind am Inhalte der vorderen Kammer angestellt und es gelten daher die folgenden Angaben, wenn nicht das Gegentheil bemerkt ist, zunächst für diese; der grösste Theil der Resultate lässt sich aber wohl auf den Glaskörperdruck übertragen.

Methode der Messung des intraocularen Druckes.

§ 52. Für das menschliche Auge liegen keine directen Bestimmungen des Augendruckes vor, da die hier allein zur Anwendung gebrachten tonometrischen Methoden nicht den Augendruck selbst messen, sondern darauf ausgehen, die durch eine bestimmte Kraft erzeugte Formveränderung des Bulbus, oder die zu einer bestimmten Formveränderung nöthige Kraft zu ermitteln, woraus sich dann unter gewissen Voraussetzungen Schlüsse auf die Höhe des Augendruckes machen lassen.

Man hat versucht, auf indirectem Wege, aus tonometrischen Bestimmungen die Höhe des menschlichen Augendruckes zu ermitteln, indem man an Leichenaugen durch ein mit dem Glaskörperraum verbundenes Manometerrohr beliebige Druckwerthe herstellte und die entsprechenden Tonometergrade beobachtete. Doch können die bisher auf diesem Wege erhaltenen Resultate keinen Anspruch auf grosse Genauigkeit machen; die Angaben schwanken zwischen 20 und 50 Mm. Hg.

Ad. Weber fand eine mittlere Druckhöhe von 30—40 Mm. Hg (entsprechend 26—27° seines Tonometers, bei Schwankungen von 14°); er glaubt aber nach Vergleichung mit den Ergebnissen der einfachen Palpation, dass dieser Druck noch zu hoch sei und schätzt die wirkliche Höhe auf 20—30 Mm. Hg, die zuweilen auf 30—40 Mm. Hg steigen könne. Dies würde auch mit den manometrischen Messungen an Thieren gut übereinstimmen. Dor fand als Durchschnittswerth 37 Mm. Hg (entsprechend 27° seines Tonometers); E. Pflüger, der mit einem verbesserten Dor'schen Instrument eine grössere Reihe von Messungen angestellt hat, erhielt einen Mittelwerth von 24,5 Ton.°, woraus er eine Druckhöhe von 50 Mm. Hg ableitet. Berücksichtigt man indessen, dass bei Pflüger's Bestimmungen für ein Wachsen des Augendruckes von 20 bis auf 50 Mm. Hg nur eine Zunahme der mittleren Tonometerwerthe von 20 bis 24,7° gefunden wurde, dagegen bei Dor's Versuchen für ein Steigen von 20 bis 30 Mm. Hg eine etwa eben so grosse Zunahme der Tonometerwerthe von 20 bis 24¾°, so ergiebt sich daraus, dass die Ableitung der Druckhöhen aus den Tonometergraden doch noch eine sehr unsichere ist.

§ 53. Auch die manometrische Bestimmung der Höhe des Augendruckes bei Thieren begegnet manchen Schwierigkeiten und Fehlerquellen. Zu einer vollkommen richtigen Bestimmung wäre nothwendig, dass durch die Einführung des Manometers an den Druckverhältnissen des Auges gar nichts geändert würde; da nun diese Forderung nicht streng ausführbar ist, so müssen die Störungen wenigstens möglichst gering gemacht werden, was wohl am besten durch Beachtung der folgenden Rathschläge zu erreichen ist.

Beim Einführen der mit dem Manometer verbundenen Stichcanüle ist das Ausfliessen von Kammerwasser sorgfältig zu vermeiden; die Canüle muss während der Einführung dicht an ihrer Oeffnung vom Manometer abgesperrt sein und das Hg schon vor der Einführung auf einen Druck gebracht werden, der dem mittleren Augendruck entspricht. Die von manchen Autoren gegen den Gebrauch von Kautschukverbindungen zwischen Canüle und Manometer erhobenen Einwände scheinen mir unbegründet, wenn das Kautschukrohr von guter Beschaffenheit ist. Eine durch Punction und Contrapunction einzuführende kleine Stichcanüle mit seitlicher Oeffnung (wie sie von mir beschrieben ist)[1], empfiehlt sich deshalb, weil sie bei ihrem sehr geringen Gewicht und der Verbindung mit einem möglichst dünnen Kautschukschlauch vom Auge leicht getragen wird und den Bewegungen desselben fast ohne jede Zerrung folgt.

Das Lumen des Manometerrohrs muss capillar sein, d. h. so enge, als es mit einer prompten Bewegung der Hg-Säule bei kleinen Durckschwankungen verträglich ist. Das die Schwankungen des Augendruckes anzeigende Steigen oder Fallen der Hg-Säule ist natürlich davon abhängig, dass bei diesen Schwankungen Flüssigkeit aus dem Auge aus- oder in dasselbe zurücktritt, was am normalen Auge nicht der Fall ist. Da nun hierdurch eine Rückwirkung auf die Höhe des Augendruckes stattfindet, so entsteht daraus ein Fehler, der aber um so kleiner wird, je enger man das Manometerrohr macht, weil alsdann für eine gleiche Druckschwankung weniger Flüssigkeit aus dem Auge aus- oder in dasselbe zurückzutreten braucht.

Das Mikromanometer von Hering, welches Adamük zu einem Theil seiner Versuche benutzte, beruht auf dem zuletzt angegebenen Princip. Die Stichcanüle steht dabei in Verbindung mit einem, theils mit wässeriger Flüssigkeit, theils mit Luft gefüllten, am Ende geschlossenen Capillarrohr. Die am Ende desselben befindliche Luft wird durch die Schwankungen des Augendruckes bald etwas ausgedehnt, bald zusammengedrückt; die Veränderung des Volums ist aber so gering, dass sie die Höhe des Augendruckes nicht im mindesten beeinflussen kann. Die kleinen Aenderungen im Stande der Grenze zwischen Luft und Flüssigkeit werden mit Hülfe des Mikroscops abgelesen.

Um die Einwirkung der äusseren Augenmuskeln und der Lider auf das Auge zu beseitigen, werden die Versuche am besten an curarisirten Thieren ausgeführt; als das geeignetste Thier zu denselben wird die Katze empfohlen.

Da schon der Reiz, welcher durch die Einführung des Manometers verursacht wird, eine Veränderung des Augendruckes nach sich ziehen kann, so haben manche Autoren, unter Anderen Stellwag, die manometrischen Bestimmungen des Augendruckes überhaupt verworfen. Indessen dürfte der dadurch bedingte Fehler unerheblich sein und jedenfalls nur bei der Messung der absoluten Druckhöhe in Betracht kommen und nicht bei dem Studium der Veränderungen, welche der Augendruck durch bestimmte Einflüsse erfahren kann. Die vielfachen Widersprüche, welche zur Zeit noch zwischen den Angaben verschiedener Autoren in dieser Beziehung obwalten, erklären sich zum Theil wenigstens daraus, dass bei den Versuchen nicht immer die oben angegebenen Cautelen genügend berücksichtigt worden sind.

---

1) Arch. f. Ophth. XIX. 2. S. 112.

Höhe des intraocularen Druckes.

§ 54. Der normale Augendruck schwankt nach den manometrischen Messungen bei Thieren meistens zwischen 20 und 30 Mm. Hg, welche Grenzen auch zuweilen etwas, jedoch nicht erheblich nach oben oder unten überschritten werden. Die Angaben verschiedener Beobachter stimmen in dieser Beziehung ziemlich gut überein. Grünhagen fand bei curarisirten Thieren und zwar bei Kaninchen 25—26,5 Mm., bei Katzen 26—29 Mm. Hg.; Adamük giebt als Mittel für Katzen 24—25 Mm. Hg an, v. Hippel und Grünhagen nach späteren Bestimmungen 24 Mm.; Wegner erhielt bei Kaninchen Schwankungen zwischen 18 und 35 Mm. Ich selbst finde bei dem gleichen Thier als Mittel von 12 Bestimmungen, die zwischen 18,5 und 29,5 Mm. schwanken, 23,2 Mm. Hg. Die Uebereinstimmung dieser bei verschiedenen Thieren und von verschiedenen Beobachtern gefundenen Zahlen ist gewiss beachtenswerth und wenn sich auch noch Fehlerquellen geltend gemacht haben mögen, so wird doch der wahre Augendruck nicht erheblich von den angebenen Werthen abweichen können.

Abhängigkeit des Augendruckes von dem arteriellen Blutdruck.

§ 55. Da der Augendruck im engsten Abhängigkeitsverhältniss von dem Füllungszustande der Gefässe des Auges steht, so wird auch jedes Steigen und Fallen des Blutdruckes in den grossen Körperarterien den Augendruck beeinflussen (Adamük, v. Hippel und Grünhagen).

Adamük fand bei Unterbindung der Carotis an narcotisirten Hunden und Katzen ein Sinken des Augendruckes auf der gleichen Seite um 6—8 Mm., während die Unterbindung auf der anderen Seite ohne Einfluss war.

Diese Beobachtungen scheinen damit im Widerspruch, dass Unterbindung der Carotis kein Erblassen des Augengrundes hervorbringt (vergl. § 42). Vielleicht ist aber die Messung des Augendruckes ein feineres Mittel, um den Füllungszustand der Gefässe zu beurtheilen, als die Beobachtung der Farbe des Augengrundes.

Auch Reizung des *N. vagus* und *N. depressor* hat Sinken des Augendruckes, wie auch des Blutdruckes in der Carotis zur Folge. Beim Eintritt des Todes z. B. durch Sistiren der künstlichen Respiration an curarisirten Thieren bei eröffnetem Thorax sinkt der Druck, im Mittel um 9—10 Mm. Beim Verblutungstode sah ich den Druck beim Kaninchen von 18,5 Mm. rasch auf 9 Mm. Hg heruntergehen, um nachher noch langsam weiter zu sinken; doch dauert es gewöhnlich Stunden, bis derselbe ganz auf Null herabgesunken ist.

Bei Opiumvergiftung, wo der arterielle Druck wegen der starken Ausdehnung der kleinen Gefässe der Haut sehr niedrig ist, verhält sich auch der Augendruck in gleicher Weise; ebenso soll auch Chinin und Digitalin den Augendruck herabsetzen (Adamük). Ein sehr erhebliches Sinken des Blut- und Augendruckes erzeugt die Durchschneidung des Rückenmarks zwischen Hinterhaupt und Atlas, wodurch der Einfluss des vasomotorischen Centrums auf die Gefässe der Baucheingeweide aufgehoben wird, und in Folge der enormen Ausdehnung der letzteren, welche den grössten Theil des Blutes in sich

aufnehmen, der Blutdruck in der Carotis auf eine sehr geringe Höhe herabsinkt. v. HIPPEL und GRÜNHAGEN fanden dabei in sechs Versuchen eine Höhe des Augendrucks zwischen 12 und 16 Mm. Hg.

Eine sehr bedeutende Steigerung kann erhalten werden durch Zuklemmen der *Aorta descendens* (v. H. und G., A., AD. WEBER), ebenso auch durch Reizung des Halsmarks, also durch die Contraction der kleinen Arterien des Körpers und die dadurch bedingte Blutdrucksteigerung (v. H. und G.; A.) v. HIPPEL und GRÜNHAGEN erhielten eine Druckzunahme von 10—16 Mm. und dasselbe Resultat ergab sich auch, wenn der Druck durch vorhergehende Trennung des Rückenmarks vom Gehirn in der oben angegebenen Weise herabgesetzt war.

Durch Reizung der *Medulla oblongata* wurde eine noch viel beträchtlichere Steigerung des Augendruckes erhalten, welche aber v. H. und G. nicht durch Reizung des vasomotorischen Centrums, sondern der des Trigeminusursprunges erklären wollen (s. unten).

Reflectorische Erregung des vasomotorischen Centrums durch Reizung sensibler Nerven, wodurch nach LOVÉN der Blutdruck bedeutend gesteigert wird, bewirkte bei Kaninchen (nach v. H. und G.) nur einige Male eine leichte Zunahme des Augendruckes, während bei Hunden ein bedeutendes Steigen erfolgte (in zwei Versuchen nahezu auf das doppelte). Dagegen brachte nach denselben Autoren Injection von Calabarlösung in die *Vena jugularis*, wodurch der Blutdruck ebenfalls beträchtlich erhöht wird, nur ein vorübergehendes Steigen, nachher aber im Gegentheil ein Sinken des Augendruckes hervor.

§ 56. Behinderung des venösen Rückflusses hat nur dann einen merklichen Einfluss auf den Augendruck, wenn das Hinderniss in der Nähe des Auges angebracht wird. Nach Unterbindung der *Vv. jugulares* sah ADAMÜK nur zuweilen und dann erst nach einigen Minuten ein unbedeutendes Steigen. Mit dieser Beobachtung stehen die Angaben MEMORSKY's über die Unabhängigkeit der intraocularen Gefässe von Compression der grossen Halsvenen in völligem Einklang, wenn auch die von MEMORSKY gegebene Erklärung unrichtig ist (s. oben § 33 und 42).

Bei Unterbindung der *Venae vorticosae* tritt dagegen neben einer sehr hochgradigen venösen Hyperämie des ganzen Uvealtractus eine bedeutende Steigerung des Augendruckes ein. ADAMÜK erhielt bei Katzen eine Zunahme bis 90 Mm.; ich selbst bei Kaninchen eine solche bis zum Doppelten des normalen und etwas darüber; die Augen fühlen sich bei der Palpation steinhart an.

Durch Injection der Blutgefässe nach dem Tode lässt sich ein Theil der natürlichen Spannung des Auges wiederherstellen; das Auge bleibt aber doch gewöhnlich weniger gespannt als während des Lebens und das Auftreten einer bedeutenderen Härte rührt in der Regel von Gefässzerreissungen und Austritt der Injectionsmasse in das Innere des Bulbus her.

Pulsatorische und respiratorische Schwankungen des Augendruckes.

§ 57. Die Hg-Säule des Manometers zeigt nicht selten kleine, mit dem Puls und etwas grössere, mit den Respirationsphasen synchronische Schwankungen. Dieselben wurden zuerst beobachtet von K. Weber, welcher überhaupt das Verdienst hat, gemeinschaftlich mit C. Ludwig die ersten manometrischen Bestimmungen des Augendruckes unternommen zu haben. Lässt man, wie es bei diesen Versuchen geschah, zuerst das Kammerwasser abfliessen und bedient sich eines weiten Manometerrohrs, wobei es nicht zu einer raschen Wiederherstellung des normalen Druckes kommen kann, so sind diese Schwankungen ziemlich excursiv; wird aber das Ausfliessen von *Humor aqueus* vermieden und ein möglichst enges Manometer benutzt, so fallen die Schwankungen, wenigstens bei Kaninchen äusserst gering aus und scheinen gewöhnlich ganz zu fehlen. Ihr Vorkommen wird übrigens von allen Beobachtern angegeben; nur bei den neuesten, mit Hering's Mikromanometer angestellten Versuchen von Adamük wird ihrer keine Erwähnung mehr gethan. Da indessen diese Methode vielleicht sehr geringe und kurz andauernde Druckschwankungen nicht deutlich hervortreten lässt und da auch eine capillare Hg-Säule der Fortpflanzung solcher Schwankungen wohl einen bedeutenderen Widerstand entgegensetzt, so können diese negativen Resultate das Bestehen leichter, mit Puls und Respiration synchronischer Schwankungen des Augendruckes nicht widerlegen. Vermuthlich bestehen sie auch innerhalb der geschlossenen Augenkapsel, dürften aber von sehr geringer Intensität sein, und nur Bruchtheilen eines Millimeters an Hg-Druck entsprechen.

Grössere Störungen der Respiration können, wie es scheint, durch die dadurch bedingten Schwankungen des Blutdrucks, den Augendruck erheblicher beeinflussen. Sistirung der künstlichen Respiration an curarisirten Thieren bringt nach v. H. und G. und nach A. gleichzeitige Steigerung des Gefäss- und Augendruckes hervor, nach ersteren Autoren aber nur, wenn der Thorax nicht weit geöffnet ist. Im letzteren Falle tritt immer ein Sinken des Augendruckes ein, (wodurch sich auch wohl die Angabe von Schöler erklärt, welcher constant Abnahme des intraocularen Druckes beobachtet hat). v. Hippel und Grünhagen schliessen hieraus, dass die gleichzeitige Zunahme des Gefäss- und Augendruckes beim Sistiren der künstlichen Athmung nicht, wie Adamük annimmt, durch die Kohlensäureanhäufung im Blute und dadurch bedingte Reizung des vasomotorischen Centrums entstehen könne, und dies um so weniger, als die Zunahme des Druckes immer unmittelbar auf die Sistirung der künstlichen Athmung folgt. Sie glauben vielmehr, dass durch die künstliche Respiration bei nicht eröffnetem Thorax eine Compression des Herzens und der grossen Gefässstämme stattfinde, die eine Herabsetzung des Blutdruckes zur Folge habe; beim Aufhören der künstlichen Athmung muss dieselbe wegfallen. Indessen scheint der Augendruck während der künstlichen Respiration an curarisirten Thieren nicht niedriger zu sein als sonst; wenn jene Erklärung richtig ist, so muss sich also noch ein anderer Einfluss in entgegengesetztem Sinne geltend machen, der auch beim Aufhören der künstlichen Respiration fortwirkt

und der von v. H. und G. in venöser Stauung gesucht wird. Der Gegenstand ist offenbar noch nicht genügend durch Versuche aufgeklärt.

Einfluss äusseren Druckes.

§ 58. Druck von Aussen vermag natürlich den Augendruck in die Höhe zu treiben, sei es durch eine dem Auge fremde Gewalt z. B. Druck mit dem Finger, oder Druck von Seiten der Lider und äusseren Augenmuskeln. Bei nicht curarisirten Thieren sieht man bei jedem Lidschluss und jeder Bewegung des Auges ein Steigen der Hg-Säule, bei krampfhaften Contractionen der betreffenden Muskeln oft zu beträchtlicher Höhe, nachher aber sofort wieder eine Rückkehr zu dem früheren Stande.

Bei Strychninvergiftung kann nach Adamük während des Tetanus der Augendruck auf das Doppelte gesteigert sein. Reizung des Oculomotorius hat natürlich dieselbe Wirkung, während bei Reizung des *Ganglion ciliare* (nach Hensen und Völckers und nach Adamük) keine Veränderung des Druckes eintritt.

Die Verstärkung der natürlichen Spannung der Augenkapsel durch äusseren Druck findet als Druckverband bei vielen krankhaften Zuständen des Auges therapeutische Verwendung.

Wirkung der intraocularen Muskeln auf den Augendruck. Einfluss der Mydriatica und Myotica.

§ 59. Ein directer Einfluss der Contraction des Ciliarmuskels und der Irismusculatur auf die Höhe des Augendruckes ist nicht nachzuweisen. Sowohl bei Reizung des *Ganglion ciliare*, als bei directer (elektrischer) Reizung des Auges in der Gegend des Ciliarmuskels bei curarisirten Thieren und bei directer Reizung exstirpirter Augen (bei erhaltener Reactionsfähigkeit der Iris) bleibt nach den übereinstimmenden Angaben verschiedener Beobachter jede Veränderung des Augendruckes aus (Grünhagen, Hensen und Völckers, Adamük.)

Da die Möglichkeit vorliegt, dass bei der Contraction des Ciliarmuskels der Druck im Glaskörperraum von dem in der vorderen Kammer verschieden sei, so hat Adamük Controlversuche mit 2 Manometern angestellt, von denen er eines in die vordere Kammer, das andere in den Glaskörperraum einführte, wobei aber kein Unterschied zwischen beiden gefunden wurde. Die Oeffnung des in den Glaskörper eingeführten Manometers muss möglichst weit sein, weil sonst die Druckschwankungen nicht gut übertragen werden.

Auch mittelst des Tonometers konnten Donders und Monnik nicht die geringste Veränderung in der Spannung der Augenkapsel unter dem Einfluss angestrengter Accommodation und Convergenz für die Nähe nachweisen. Förster sah an perforirten Geschwüren der Hornhaut bei Accommodation für die Nähe ein deutliches Einsinken des stark verdünnten Geschwürsgrundes oder ein Zuzücktreten des in der Perforationsstelle befindlichen Flüssigkeitstropfens; das Entgegengesetzte trat bei Accommodation für die Ferne ein. Er zieht hieraus den

Schluss, dass bei der Accommodation für die Nähe der Raum der vorderen Kammer grösser werde, also der Druck in derselben abnehme und umgekehrt beim Sehen in die Ferne. Coccius, welcher ähnliche Beobachtungen gemacht hat, hebt indessen mit Recht hervor, dass dieselben wohl nicht ohne Weiteres für das Verhalten bei normal erhaltener vorderer Augenkammer verwerthet werden dürfen.

§ 60. Atropineinträuflung bewirkt eine leichte Herabsetzung des Augendruckes (Wegner, Adamük), die aber nach letzterem Beobachter nie mehr als einige Millimeter beträgt (im Maximum 6 Mm.), womit auch zwei von mir angestellte Versuche übereinstimmen. Zugleich fand Adamük eine Verminderung der Absonderungsgeschwindigkeit des *Humor aqueus*. Dieselbe wurde mittelst eines besonderen, von Hering angegebenen Apparates nachgewiesen, an welchem der *Humor aqueus* sich tropfenweise in ein kleines Gefäss entleerte, in welchem ein beliebig hoher Druck hergestellt werden konnte.

Auf tonometrischem Wege haben beim Menschen Dor, Ad. Weber und Pflüger eine Herabsetzung des Augendruckes durch Atropin beobachtet. Pflüger erhielt eine solche von 0,5—2 Graden des Dor'schen Tonometers; dieselbe blieb indessen manchmal aus und in einzelnen seltenen Fällen trat sogar eine Zunahme des Druckes auf, wie auch schon Monnik an zwei Augen mit vorderer Synechie beobachtet hatte. Indessen sieht man nach Monnik auch ohne Atropinwirkung beim normalen Auge Schwankungen von ziemlich derselben Grösse, wenn der Druck zu verschiedenen Zeiten bestimmt wird; es wird hierdurch die Abhängigkeit jener Schwankungen von der Wirkung des Atropins etwas unsicher; doch spricht dafür, dass die Druckverminderung fast regelmässig und nur mit wenigen Ausnahmen eintrat.

Da das Atropin den *Sphincter pupillae* und Ciliarmuskel lähmt, so könnte man seine druckvermindernde Wirkung auf die Lähmung dieser Muskeln beziehen. Hiermit stehen aber die negativen Ergebnisse der Reizung dieser Muskeln im Widerspruch. Man hat deshalb eine Wirkung des Mittels auf die Gefässe angenommen und es ist von verschiedenen Beobachtern bald eine Verengerung (Adamük), bald eine Erweiterung der intraocularen Gefässe (Wegner) vermuthet worden. Mit der letzteren Annahme scheint, wie schon im § 48 angegeben wurde, auch die directe Beobachtung im Einklang zu stehen (Coccius). Indessen kann eine Erweiterung der Gefässe an sich natürlich keine Verminderung des Druckes zur Folge haben, sondern im Gegentheil eine Zunahme; die erstere Wirkung kann nur dann erfolgen, wenn zugleich die Absonderung der intraocularen Flüssigkeiten abnimmt und hierdurch die Raumvermehrung durch Ausdehnung der Gefässe übercompensirt wird. Adamük hat nun wirklich eine Verminderung der Secretion des *Humor aqueus* nach Atropinisirung beobachtet. Doch müsste vor allem die Wirkung des Atropins auf die intraocularen Gefässe und besonders die Circulation in denselben noch durch genauere Untersuchungen festgestellt werden.

Das dem Atropin entgegengesetzt wirkende Mittel, das Calabarextract bringt bei localer Application auf das Auge nach Adamük nur leichte Steigerung des Augendruckes hervor, welche aber von v. Hippel und Grünhagen in Abrede gestellt wird. Da das Mittel überdies zugleich reizend auf die sensibeln Nerven

des Auges wirkt und da auch durch andere, auf die Oberfläche des Auges applicirte Reize eine Zunahme des Augendruckes entsteht, so bleibt es auch nach Adamük ungewiss, ob es sich nur um diese chemisch irritirende oder um eine specifische physiologische Wirkung handelt.

Einfluss des *N. sympathicus* auf den Augendruck.

§ 61. Die Wirkung des *N. sympathicus* auf den Augendruck ist eine complicirte und scheint sich, wenigstens bei gewissen Thieren, aus einander entgegenwirkenden Einflüssen zusammenzusetzen. Reizung des *N. sympathicus* bewirkt nach Adamük bei der Katze, wo die meisten Versuche angestellt worden sind, zuerst ein rasches Steigen des Augendruckes (gleichzeitig mit einer Zunahme des Blutdrucks), das später und gewöhnlich noch während der Reizung in ein langsames Sinken übergeht, bis zur anfänglichen Höhe und noch unter dieselbe; während dem geht auch der Blutdruck, aber noch langsamer zurück.

Auch v. Hippel und Grünhagen beobachteten im wesentlichen dieselben Erscheinungen, zuerst eine Zunahme und dann eine Abnahme des Augendruckes, deren Grösse innerhalb ziemlich weiter Grenzen (1—10 Mm. Hg) schwankte.

In Betreff der Erklärung stimmen die genannten Beobachter jedoch nicht überein. Die Steigerung des Augendruckes wird von v. H. und G. durch Contraction der glatten Musculatur der Orbita erklärt, welche unter der Wirkung des Sympathicus steht und dazu bestimmt ist, das Auge nach vorn zu ziehen, die demnach einen Druck auf dasselbe ausüben kann. Adamük erkennt auch neuerdings die Contraction des Orbitalmuskels als eine mitwirkende Ursache für die Drucksteigerung an, behauptet aber, dass noch eine andere Ursache vorhanden sein müsse, weil nach Zerstörung des Orbitalmuskels und möglichster Freilegung des Auges (bei Erhaltung seiner Gefässe und Nerven) die Reizung des Sympathicus noch immer Steigerung des Augendruckes (und zugleich des Blutdruckes) hervorbringe. Letztere Angabe wird dagegen von v. H. und G. ebenso bestimmt in Abrede gestellt und hervorgehoben, dass die Wirkung des Orbitalmuskels auf das Auge nicht gut ohne erhebliche, das Gelingen des Versuches beeinträchtigende Verletzungen völlig beseitigt werden könne.

Adamük hatte früher versucht, die Drucksteigerung durch Contraction des Ciliarmuskels zu erklären, was nicht mehr haltbar ist, seit man weiss, dass dieser Muskel vom Oculomotorius und nicht vom Sympathicus innervirt wird. In seiner neuesten Arbeit nimmt er nun — neben der Contraction des Orbitalmuskels — noch die manometrisch nachgewiesene Steigerung des Blutdruckes als Ursache an. Letztere entsteht (wie die Blutdrucksteigerung bei Reizung des Halsmarkes) durch die Contraction der vom Sympathicus innervirten Blutgefässe des Kopfes und die davon abhängige Zunahme der Widerstände des Blutstromes. Da nun die Gefässe des Auges an der Verengerung ebenfalls theilnehmen, so ergibt sich hieraus wieder eine Ursache für ein Sinken des Druckes. Im Anfang soll nun nach Adamük die Wirkung der Blutdrucksteigerung, später die der Verengerung der Gefässe überwiegen und auf diese Art das auf einander folgende Ansteigen und Wiederabsinken des Augendruckes erklärt werden.

Die spätere Abnahme des Augendruckes wird ohne Zweifel, wie auch v. H. und G. annehmen, durch die Verengerung der intraocularen Gefässe zu erklären sein. Wenn eine solche aber wirklich zu Stande kommt, so ist nicht recht einzusehen, wie die Steigerung des arteriellen Druckes in den grossen Gefässen durch eine Vermehrung des Augendruckes sich geltend machen kann, um so weniger, als Adamük bei Sympathicusreizung keine Zunahme der Absonderung des *Humor aqueus* beobachtet hat. Es müssten denn im Anfang die intraocularen Gefässe erweitert und erst später verengert sein, wofür aber keine Beobachtung spricht.

Eine durch künstliche Herabsetzung des Augendruckes angeregte Absonderung des *Humor aqueus* wird nach Adamük durch Sympathicusdurchschneidung vermehrt, durch Reizung vermindert, nachdem nur zuweilen eine ganz leichte vorübergehende Zunahme der Filtration eingetreten ist.

§ 62. Durchschneidung des Halssympathicus bewirkt nach A. bei der Katze ein Sinken um 1—2 Mm., welcher mitunter ein Steigen folgt. v. H. und G. haben dagegen weder bei Katzen noch bei Kaninchen eine Aenderung des Augendruckes nach diesem Eingriff beobachtet.

Beim Kaninchen fällt nach v. H. und G. die Veränderung des Druckes durch Sympathicusreizung fort, bei Reizung des *Ganglion cervicale supremum* trat aber eine merkliche Verminderung des Augendruckes ein. Wegner erhielt bei Kaninchen durch Reizung inconstante Resultate, bald keinen Erfolg, bald eine geringe vorübergehende Steigerung; nach Durchschneidung sah er dagegen zu wiederholten Malen ein Sinken von 4—8 Mm. Hg. Donders konnte bei Sympathicusdurchschneidung keinen wesentlichen Einfluss auf die Spannung des Bulbus erkennen.

Petit und später Cl. Bernard wollen nach Sympathicusdurchschneidung Abflachung der Hornhaut und Verkleinerung des Bulbus beobachtet haben, was sich mit den nahezu negativen Resultaten der Messung des Augendruckes nicht vereinigen lässt. Wenn diese Veränderungen nicht erst einige Zeit nach der Durchschneidung auftreten, was noch durch genauere Methoden (Ophthalmometer) zu prüfen wäre, so kann es sich wohl nur um eine Täuschung durch die Verengerung der Lidspalte und das Zurücksinken des Bulbus in die Orbita handeln.

Einfluss des *N. trigeminus* auf den Augendruck.

§ 63. Ebenso grosse Differenzen wie über die Wirkung des Sympathicus herrschen auch in den Angaben der verschiedenen Beobachter über den Einfluss des Trigeminus auf den intraocularen Druck.

v. Hippel und Grünhagen schreiben diesem Nerven eine specifische Wirkung zu, so dass bei Reizung desselben in Folge von Erweiterung der Gefässe eine vermehrte Absonderung der intraocularen Flüssigkeiten und dadurch eine hochgradige Steigerung des Augendruckes eintrete, ähnlich der vermehrten Absonderung der Speicheldrüsen bei Reizung ihrer secretorischen Nerven. Nach Adamük dagegen erklärt sich die bei Reizung des Nerven auftretende Zunahme des Augendruckes allein durch eine gleichzeitige Steigerung des Blutdrucks.

Die Angaben v. H. und G.'s stützen sich auf die Ergebnisse der Reizung der *Medulla oblongata*, in welcher der *N. trigeminus* entspringt, und die der Reizung der Oberfläche des Auges (also der Endigungen dieses Nerven) mit verschiedenen chemischen Reizmitteln. Eine directe Reizung des Trigeminusstammes haben sie nicht versucht.

Reizung der *Med. oblongata* durch den Inductionsstrom vermittelst zweier Nadeln, deren eine zwischen Atlas und Hinterhauptsbein, die andere in das letztere selbst eingeführt wurde, bewirkte an curarisirten Katzen eine enorme Steigerung des Augendruckes, zuweilen bis 200 Mm. Hg, die nach Aufhören der Reizung noch längere Zeit sich erhielt, woraus die Verff. eine beträchtliche Zunahme der intraocularen Flüssigkeitsabscheidung erschliessen. Die Drucksteigerung soll nicht auf einer durch Reizung des vasomotorischen Centrums bedingten Zunahme des Blutdrucks beruhen, weil Reizung des Halsmarkes bei weitem keine so bedeutende Drucksteigerung hervorbrachte, und weil auch nach Unterbindung der *Aorta descendens* durch Reizung der *Medulla oblongata* noch eine weitere, sehr bedeutende Zunahme des Druckes erhalten wurde. Doch hatte nach Abtrennung des Halsmarkes die Reizung der *Medulla oblongata* in den meisten Fällen gar keinen Einfluss auf den Augendruck mehr, was doch sehr für die von den Verfassern bekämpfte Ansicht spricht. Sie wollen die letztere Thatsache dadurch erklären, dass durch die vorausgehende Durchschneidung des Halsmarkes das Auge zu blutleer geworden sei, als dass der Trigeminus noch eine genügende Wirkung entfalten konnte. Wurde vorher das durchschnittene Halsmark gereizt, so hatte die nachfolgende Reizung der *Medulla oblongata* auch wieder einigen Effect.

Application von Nicotin auf die Cornea soll den Augendruck ebenso hoch steigern, als die Reizung des verlängerten Markes. Auch andere auf die Cornea gebrachte Reizmittel, Creosot, Calabarextract etc., bringen Steigerung des Augendruckes hervor, so auch mechanische Reizung der Iris (z. B. beim Einführen der Stichcanüle); ihre Wirkung ist aber viel geringer als die des Nicotins und kann durch nachträgliche Anwendung des letzteren noch erheblich gesteigert werden. Auch die Wirkung des Nicotins soll nicht allein von der bedeutenden Steigerung des Blutdrucks abhängen, welche das Mittel hervorruft, weil dasselbe ebenfalls im Stande sei, den Augendruck auch nach Unterbindung der *Aorta descendens* noch weiter in die Höhe zu treiben.

Adamük hat dagegen den Trigeminus in der Schädelhöhle gereizt (die Methode ist nicht genauer angegeben) und zwar ebenfalls eine bedeutende Drucksteigerung erhalten, die aber niemals die Höhe des gleichzeitig und ganz parallel gesteigerten Gefässdruckes erreichte und nach Aufhören der Reizung nicht andauerte, sondern im Gegentheil schon während derselben wieder abzunehmen begann. Die Versuche sind mit dem Hering'schen Mikromanometer angestellt, und es erklären sich nach A. die abweichenden Resultate von H.'s und G.'s durch die zu grosse Weite ihrer Manometerröhren, wobei das Hg nur steigen kann, wenn eine beträchtliche Vermehrung der Secretion erfolgt, die aber bei uneröffneter Bulbuskapsel nicht stattfindet. Adamük bestimmte auch die Absonderungsgeschwindigkeit des Kammerwassers bei Trigeminusreizung mittelst des oben erwähnten Apparates von Hering und fand dieselbe nicht vermehrt.

Da auch bei chemischer Reizung der Cornea eine Steigerung des Blutdruckes stattfindet, welche zur Erklärung der Zunahme des Augendruckes ausreichen soll, so schliesst Adamük, dass bis jetzt keine experimentellen Thatsachen vorliegen, welche eine specifische Wirkung gewisser Nerven auf die Höhe des Augendruckes und die intraoculare Flüssigkeitsabsonderung annehmen liessen.

Durch klinische Beobachtungen am Menschen ist bekannt, dass in Fällen, wo die Iris einer fortdauernden Zerrung ausgesetzt ist, z. B. bei Verwachsung derselben mit einer Hornhautnarbe, sich nicht selten eine Zunahme des intraocularen Druckes entwickelt. Man nimmt zur Erklärung an, dass die mechanische Reizung der sensibeln Irisnerven sich reflectorisch auf vasomotorische oder secretorische Nerven des Auges übertrage und dass die Reizung der letzteren eine Zunahme der Flüssigkeitsabscheidung in das Innere des Auges zur Folge habe. Ein Reizzustand hypothetischer Secretionsnerven des Auges wird von Donders auch als Ursache des Glaucoms angesehen. In diesen Fällen kann natürlich nicht daran gedacht werden, dass die Drucksteigerung im Auge durch eine Zunahme des Blutdrucks bedingt sei.

§ 64. Durchschneidung des Trigeminus führt, wie Snellen und Donders gefunden haben, nach einiger Zeit zu einer sehr erheblichen Verminderung des Augendruckes. Anfangs bleibt die Spannung unverändert oder kann sogar etwas zunehmen, während die Pupille verengert und die Iris der Hornhaut genähert erscheint; bald darauf nimmt aber der Druck ganz regelmässig ab, auch wenn das gehörig geschützte Auge von jeder Reizung und Entzündung frei bleibt.

v. Hippel und Grünhagen fanden gleichfalls unmittelbar nach der Trigeminusdurchschneidung das Auge deutlich härter und etwas prominent. Dasselbe wurde nun geschützt und nach 6 Tagen der Augendruck bestimmt, aber niemals eine Herabsetzung im Vergleich mit der andern Seite gefunden; eine Druckverminderung und zwar eine sehr erhebliche, trat erst dann ein, wenn bereits der erste Anfang von neuroparalytischer Keratitis vorhanden war. Die Verfasser glauben demnach, im Widerspruch mit Donders, annehmen zu müssen, dass die Ernährungsstörung der Cornea das Primäre sei und dass das Sinken des Augendruckes durch vermehrten Austritt von *Humor aqueus* durch die Hornhaut erklärt werden müsse.

Auch beim Menschen ist nach Trigeminuslähmung wiederholt bedeutende Consistenzverminderung des Auges beobachtet worden, doch war auch hier gewöhnlich schon ein Anfang von Ernährungsstörung der Hornhaut vorhanden; umgekehrt war in solchen Fällen, wo die Weichheit des Bulbus ausblieb, auch keine neuroparalytische Keratitis aufgetreten.

Bemerkenswerth ist noch die Angabe von Nagel, dass er nach leichten Contusionen des Auges bei Kaninchen ein deutliches Weicherwerden des Auges, Verengerung der Pupille, Hyperämie der Iris und des Augengrundes gesehen habe, ähnlich wie nach Trigeminuslähmung. Es erinnert dies an die sog. essentielle *Phthisis bulbi* (v. Gräfe) oder Hypotonie (Nagel) beim Menschen, welche in einer Herabsetzung des Augendruckes ohne sonstige erhebliche Veränderungen besteht und mitunter ebenfalls nach Verletzungen des Auges beobachtet worden ist.

Die auffallenden Widersprüche, welche namentlich in Bezug auf den Einfluss der Nerven auf den intraocularen Druck zwischen den Angaben der verschiedenen Beobachter obwalten, werden nur durch grössere und mit allen Cautelen angestellte Versuchsreihen zu erledigen sein. Ich habe es deshalb unterlassen, obgleich mir auch über diesen Gegenstand eigene noch nicht abgeschlossene Versuche zu Gebote stehen, deren Resultate hier mit zu verwerthen und habe mich auf die Wiedergabe fremder Beobachtungen beschränkt.

Einfluss der Iridektomie auf den intraocularen Druck.

§ 65. Da beim Menschen die Ausschneidung eines Stückes der Iris den pathologisch gesteigerten Augendruck bleibend zur Norm zurückführt (v. Gräfe), so hat man auch die Wirkung dieser Operation auf normale Thieraugen untersucht (Wegner, v. Hippel und Grünhagen). Bei einfacher Iridektomie waren die Ergebnisse widersprechend; durch wiederholte Iridektomien, wodurch nach und nach ein grösserer Theil der Iris entfernt werden kann, lässt sich aber unzweifelhaft eine namhafte Herabsetzung des normalen Augendruckes erzielen. Indessen lässt sich dieses Ergebniss für das menschliche Auge nur wenig verwerthen, weil bei den zu den Versuchen benutzten Kaninchen mit der Iris auch die Ciliarfortsätze entfernt werden, welche das hauptsächlichste secernirende Organ der intraocularen Flüssigkeiten sind. Die erzielte Wirkung ist daher wahrscheinlich auf die Verminderung der secernirenden Oberfläche zu beziehen, eine Erklärung, die für die Wirkung beim Menschen höchst unwahrscheinlich ist. Eine andere Erklärung hat Exner versucht. Er fand, dass nach Iridektomien bei Thieren in dem schmalen zurückgebliebenen Saum der Iris zwischen *Circulus arteriosus major* und Wundrand sich weite Anastomosen zwischen Arterien und Venen entwickeln. Er glaubt, dass durch dieselben eine Herabsetzung des Blutdruckes in den intraocularen Gefässen und somit auch des Augendruckes eintreten müsse, und sucht auf diese Art die Wirkung der Iridektomie beim Glaucom zu erklären.

Da hier nicht der Ort ist, ausführlicher auf diese dem Gebiete der Pathologie des Auges angehörige Frage einzugehen, so genüge die Bemerkung, dass es in neuerer Zeit sehr fraglich geworden ist, ob bei der Iridektomie das Ausschneiden der Iris als solches nützt oder vielmehr die Anlegung einer grösseren Wunde am Skleralrande, bei deren Heilung eine Narbe entsteht, welche die Filtration des *Humor aqueus* erleichtern könnte (Stellwag, Quaglino, Wecker).

6. Abschnitt.

Ueber die Secretions- und Absorptionsverhältnisse der intraocularen Flüssigkeiten.

§ 66. Die Absonderung des *Humor aqueus* muss mit grösster Wahrscheinlichkeit den Ciliarfortsätzen, wohl auch gleichzeitig der hinteren Fläche der Iris zugeschrieben werden, wofür besonders die reichliche Gefässentwickelung in den ersteren spricht. Auch findet man bei vollständiger Verwachsung des Pupil-

larrandes mit der Linsenkapsel, wodurch die hintere Augenkammer von der vorderen abgeschlossen wird, dass die letztere allmählig immer seichter und die Iris bis zur Berührung mit der Hornhaut nach vorn getrieben wird. Ferner soll beim Foetus vor dem Durchbruch der Pupillarmembran in der vorderen Augenkammer keine Flüssigkeit oder nur wenige Tropfen davon vorhanden sein. Es ist wahrscheinlich, dass der *Humor aqueus* einer fortwährenden Erneuerung unterworfen ist, da wegen der Spannung der Augenkapsel beständig eine gewisse Menge davon nach aussen hindurchsickern und durch Venen oder Lymphgefässe abgeführt werden muss, was einen continuirlichen Ersatz nöthig macht. Diese Annahme wird auch dadurch gestützt, dass eine künstliche Steigerung des Augendruckes durch Injection verdünnter Kochsalzlösung in die vordere Augenkammer beim lebenden Thier wieder zurückgeht, wenn sie nicht zu erheblich ist, was nur durch Resorption der Flüssigkeit geschehen kann. Bei Injection grösserer Flüssigkeitsmengen bleibt der Druck wenigstens eine Zeit lang gesteigert. Was hier bei erhöhtem Druck stattfindet, wird vermuthlich auch bei normalem vor sich gehen, nur wird im letzteren Falle die Resorption ebenso wenig nachweisbar sein als die Secretion.

Die Erhaltung des Augendruckes auf seiner constanten, normalen Höhe ist also von dem Gleichgewicht zwischen Absonderung und Wiederaufsaugung der intraocularen Flüssigkeiten abhängig. Ob dies auch für den Glaskörper gilt, muss vorläufig dahingestellt bleiben.

Wird das Kammerwasser durch eine Wunde der Hornhaut entleert, so sammelt sich dasselbe sehr rasch wieder an. Die bei aufgehobener vorderer Kammer in der Zeiteinheit abgesonderte Flüssigkeitsmenge ist ziemlich bedeutend, erlaubt aber keinen Rückschluss auf die Quantität des bei normalem Augendruck abgesonderten *Humor aqueus*. Da die Secretion desselben vom Druckunterschied innerhalb und ausserhalb der Gefässe abhängt, so wird im ersteren Fall, wo der Augendruck auf Null reducirt ist, die Absonderung erheblich verstärkt sein müssen. Auch unterscheidet sich die Flüssigkeit in ihrer Zusammensetzung vom normalen Kammerwasser, da sie mehr Eiweisskörper enthält und nach der Entleerung spontan gerinnt. Die Menge des unter normalen Verhältnissen in der Zeiteinheit abgesonderten *Humor aqueus* lässt sich bis jetzt nicht bestimmen.

Eine Abhängigkeit der Absonderung des *Humor aqueus* von Nerveneinfluss ist noch nicht mit Sicherheit nachgewiesen. Wenigstens haben die oben angeführten genaueren Versuche Adamük's die hierauf bezüglichen Angaben anderer Beobachter nicht bestätigt und erlauben weder dem Sympathicus noch dem Trigeminus eine solche Einwirkung zuzuschreiben. Chemische Reizung der Conjunctiva beschleunigt zwar die Filtration, es genügt aber schon eine geringe Vermehrung der Luftspannung im Apparate, um sie wieder zu sistiren. Doch kann diese Frage um so weniger für abgeschlossen gelten, als schon die auffallende Druckverminderung nach Trigeminusdurchschneidung auf eine erhebliche Störung in den Filtrationsverhältnissen des Auges hindeutet und für einen Einfluss der Nerven spricht.

§ 67. In das Blut eingeführte Salze lassen sich schon nach kurzer Zeit im Kammerwasser nachweisen. Nach Einspritzung von Ferrocyankalium in das Blut bei Hunden fand MEMORSKY dasselbe im Kammerwasser nach 18—20 Minuten, bei schwächeren Lösungen erst nach einer Stunde oder gar nicht. In den Glaskörper ging das Salz erst später über, gar nicht in die Linse. Nicht nachweisbar war dasselbe im Kammerwasser bei Einführung grosser Mengen in den Magen, dagegen reichlich nach Einspritzung in die Bauchhöhle, bei Kaninchen auch nach subcutaner Injection (nicht bei Hunden). Sublimat erschien bei Kaninchen viel rascher im Kammerwasser als Blutlaugensalz, obgleich die Lösung sehr viel weniger concentrirt war.

Besonders interessant sind die Versuche von BENCE JONES beim Menschen über den Nachweis von Lithium in der Linse von Staaroperirten, nach innerlicher Darreichung dieses Stoffes, der sonst in der Linse nicht vorkommt. Staarkranke erhielten einige Zeit vor der Operation 20 Gran kohlensaures Lithium; in der extrahirten Linse war alsdann Lithium nachzuweisen und zwar in Spuren, wenn es $2^1/_2$ Stunden vor der Operation eingenommen war, in allen Theilen der Linse bei Darreichung $3^1/_2$ Stunden vorher. Nach 4 Tagen war es noch immer vorhanden, verschwand dann aber allmählig, so dass nach 7 Tagen kaum mehr eine Spur in der Linse zu entdecken war. Im übrigen Körper erscheint das Lithium schon nach wenigen Minuten; am spätesten in der Linse. Die Grösse der Dosis und die Art der Aufnahme in den Körper ist natürlich auch von wesentlichem Einfluss auf diese Erscheinung.

§ 68. Ein Durchsickern von Kammerwasser durch die normale Hornhaut kommt während des Lebens nicht vor. Es wird verhindert durch den Epithelbelag ihrer hinteren Fläche, welcher die Hornhaut so vollständig vor dem Eindringen des *Humor aqueus* schützt, dass ihre äussere Fläche trocken bleibt, wenn man sie abwischt und vor dem Herüberfliessen von Bindehautsecret und Thränen schützt. Wird das hintere Epithel entfernt, so quillt die Hornhaut auf, trübt sich und lässt das Kammerwasser in Tröpfchenform hindurch. Dasselbe findet statt einige Zeit nach dem Tode, wenn das hintere Epithel gelockert oder verloren gegangen ist; man kann alsdann, indem man den Augapfel zwischen den Fingern drückt, Tröpfchen an der Hornhautoberfläche hervorpressen, was beim völlig frischen Auge niemals gelingt Auch an Einschnitten in die Hornhautsubstanz lässt sich durch Druck nichts auspressen, weshalb die Hornhaut auch keine nennenswerthe Menge freier Flüssigkeit zwischen ihren Gewebselementen eingeschlossen enthalten kann.

§ 69. Der normale Abfluss des Kammerwassers scheint im Winkel der vorderen Kammer stattzufinden in der Gegend des *Ligamentum pectinatum* und zwar durch Filtration und Diffusion in die hier befindlichen Gefässe.

Bei Injection von Lösungen diffusionsfähiger Farbstoffe in die vordere Kammer füllt sich sehr leicht das episklerale Venennetz in der Umgebung des Hornhautrandes und die daraus hervorgehenden vorderen Ciliarvenen. Benutzt man dagegen nicht diffundirende Farbstoffe (Berlinerblau), so bleibt bei völlig frischen Augen die Injection in der Regel aus. Es gelingt sogar, wie schon weiter oben

angegeben wurde, durch Injection in die vordere Kammer eine Mischung von Berlinerblau- und Carminlösung zu trennen, indem nur der letztere Farbstoff in die Gefässe durchdringt. Es muss sich demnach um eine Filtration der Flüssigkeit in die Gefässe handeln, bei welcher das nicht durch thierische Häute hindurchdringende Berlinerblau zurückgehalten wird, keineswegs aber, wie von Schwalbe angenommen wird, um einen offenen Zusammenhang der vorderen Kammer mit Blutgefässen, gegen dessen Existenz auch noch manche andere Gründe sprechen.

Aus der vorderen Kammer gelangt die Flüssigkeit in die mit ihr in Verbindung stehenden Maschenräume des *Ligamentum pectinatum* und scheint von da in die benachbarten Gefässe des *Circulus venosus* und die Anfänge der vorderen Ciliarvenen überzutreten. Bei Anwendung von Carminlösung ist, auch beim lebenden Thier, diese Gegend immer stark und diffus geröthet. Doch betheiligt sich vielleicht auch die vordere Fläche der Iris an der Resorption, da ich bei Versuchen an exstirpirten Augen einige Male auch die *Venae vorticosae* injicirt gefunden habe.

Ein Abfluss des *Humor aqueus* durch abführende Lymphgefässe kann mit Wahrscheinlichkeit in Abrede gestellt werden. Weder G. Schwalbe noch mir selbst ist es bei Injectionen in die vordere Kammer jemals gelungen, Lymphgefässe zu füllen. Wie schon weiter oben angeführt wurde blieb das Resultat selbst dann negativ, wenn vorher die Blutgefässe mit einer erstarrenden Masse gefüllt worden waren. Diese Versuche lassen zwar noch den Einwand zu, dass perivasculäre Lymphwege vorhanden seien, welche durch die Injection der Blutgefässe comprimirt wurden; diese können aber schwerlich von einiger Bedeutung sein, besonders wenn man im Vergleich damit die Raschheit und Leichtigkeit bedenkt, mit welcher diffusionsfähige Farbstoffe in die Blutgefässe des Skleralrandes eindringen.

7. Abschnitt.

Ernährungsverhältnisse der Hornhaut.

§ 70. Die Hornhaut ist für diffusionsfähige Stoffe durchdringlich, doch ist die Resorption an ihrer äusseren Fläche im Allgemeinen gering.

Dass Stoffe durch Diffussion die intacte lebende Hornhaut durchdringen, wurde zuerst durch de Ruiter und Donders, später unabhängig von diesen Forschern durch Gosselin bewiesen, und zwar am schlagendsten für das schwefelsaure Atropin. Der nach reichlicher Atropineinträuflung in den Bindehautsack und erfolgter Pupillarerweiterung mit allen Cautelen entleerte *Humor aqueus* erwies sich als ein schwaches Mydriaticum und brachte bei einem anderen Thier (Katze oder Hund) oder beim Menschen wieder Pupillarerweiterung hervor. Die Wirkung war aber schwächer als die einer Lösung von 1 : 120000 Wasser, so dass jedenfalls nur sehr geringe Mengen im Kammerwasser enthalten sein konnten.

Auch für andere Stoffe, Strychnin, Jodkalium, Blutlaugensalz, Kalkwasser ist der Uebergang entweder in die Hornhaut oder in das Kammerwasser dargethan (Gosselin, Wysotzky, Kisselow, Lilienfeld), aber immer nur in sehr geringer Menge. Nach Laqueur's Versuchen an ausgeschnittenen Augen verhindert das vordere Epithel die Hornhautquellung, wenn man das Auge in Wasser legt und ebenso auch das Durchdringen von in die vordere Kammer oder in die Hornhautsubstanz eingespritzter Blutlaugensalzlösung bis an die äussere Oberfläche. Es war demnach zu vermuthen, dass dasselbe auch während des Lebens das bedeutendste Hinderniss für die Resorption von der Hornhautoberfläche abgeben würde. Dies hat sich bei directen Versuchen, die Dr. Krükow und ich über diesen Gegenstand angestellt haben, bestätigt. Die Resorption erfolgt sowohl beim lebenden Thier als beim ausgeschnittenen Auge sehr viel rascher, wenn man das vordere Epithel entfernt. Vermuthlich ist auch auf diese Art zu erklären, dass Abtragen einer oberflächlichen Schicht der Hornhaut nach v. Gräfe die Wirkung des Atropins beschleunigt.

Memorsky fand bei ausgeschnittenen Augen die Diffusion erheblich rascher, als beim lebenden Thier; er erhielt sogar beim lebenden Hund mit Blutlaugensalz völlig negative Resultate. Da kein Grund einzusehen ist, warum beim völlig frischen todten Auge die Diffusion rascher erfolgen sollte als während des Lebens, so vermuthete ich, dass der Unterschied darauf beruhen möchte, dass bei erhaltener Circulation während des Lebens beständig ein Theil der in die vordere Kammer diffundirten Stoffe durch die Blutgefässe wieder abgeführt wird, so dass unter Umständen keine zur Erzeugung einer Reaction ausreichende Menge vorhanden ist. Krükow und ich fanden den von Memorsky angegebenen Unterschied bestätigt; beim lebenden Kaninchen war nach reichlicher Einträufelung einer 5 % Lösung von Ferridcyankalium nichts davon oder nur eine Spur im Kammerwasser nachzuweisen, wohl aber wenn das Epithel vorher entfernt war. Bei ausgeschnittenen Augen wurde dagegen unter möglichst gleichen Verhältnissen auch bei erhaltenem Epithel eine geringe Menge Blutlaugensalz im Kammerwasser gefunden, sehr viel mehr nach Entfernung des Epithels. Es gelang uns auch, beim lebenden Thier nach Resorption vom Bindehautsack und der Hornhautoberfläche das Blutlaugensalz im Urin nachzuweisen, so dass also jedenfalls eine Resorption stattgefunden haben musste. Es ist daher nicht nöthig, einen Unterschied in der Diffusionsfähigkeit der völlig frischen todten und der lebenden Hornhaut anzunehmen.

§ 71. Bei den angeführten Versuchen ergab sich weiter, dass Blutlaugensalz in der ersten Zeit nur in die Intercellularsubstanz und nicht in die sternförmigen Körperchen und in die Nerven der Hornhaut eindringt, selbst lange Zeit, nachdem es in die vordere Kammer gelangt ist. Der Versuch ist am leichtesten beim Frosch anzustellen, gelingt aber nach Entfernung des Epithels auch beim Kaninchen. Die Hornhaut verhält sich während des Lebens ganz ähnlich, wie bei den Imprägnationsversuchen mit Silber- und anderen Metalllösungen nach dem Tode, wenn die sog. negativen Bilder entstehen, wo die Nerven und sternförmigen Hornhautkörperchen ebenfalls von der Färbung verschont bleiben. Erst nach längerer Zeit werden auch diese imbibirt. Es folgt daraus, dass die Resorption von der Hornhaut-

oberfläche durch einfache Diffusion zu Stande kommt und dass die Zellen und Nervenverzweigungen schwieriger mit den betreffenden Lösungen imbibirt werden als die Intercellularsubstanz der Hornhaut, dass also bei diesem Vorgang die in der Hornhaut angenommenen Saftcanälchen keine Rolle spielen können.

§ 72. Ob wirklich für die Ernährung der Hornhaut ein System von saftführenden Parenchymkanälchen oder serösen Gefässen anzunehmen ist, oder ob die verschiedenen Gewebselemente der Hornhaut nur einfach an einander liegen, ohne überall fest verbunden zu sein, so dass sie durch injicirte Flüssigkeiten oder durch Wanderzellen aus einander gedrängt werden können — muss noch dahin gestellt bleiben. Bis jetzt liegt noch kein sicherer Beweis für die erstere Annahme vor und überhaupt dürfte der Stoffwechsel der normalen Hornhaut nur sehr wenig lebhaft sein. Da diese Frage aber sehr innig mit der Controverse über die wahre Gestalt der in der Hornhaut vorkommenden Zellen zusammenhängt, so soll hier nicht ausführlicher darauf eingegangen werden.[1])

In weiterer Linie muss man die Ernährung der Hornhaut wenigstens der Hauptsache nach auf die am Rande befindlichen Gefässe zurückführen. Wie schon erörtert wurde, findet am normalen Auge keine Filtration des Kammerwassers in die Hornhaut hinein statt, wodurch aber die Möglichkeit eines Stoffaustausches durch Diffusion nicht ausgeschlossen wird. Indessen ist einerseits das Kammerwasser sehr arm an festen Stoffen und besonders an Albuminaten, andererseits hat Coccius gezeigt, dass die Durchsichtigkeit und Ernährung der Hornhaut nicht leidet, auch wenn man die vordere Kammer mit Luft füllt, welche sich darin unter günstigen Umständen mehrere Tage erhalten kann.

Abhängigkeit der Hornhauternährung von Nerven.

§ 73. Wie Magendie entdeckt hat, tritt nach vollständiger Durchschneidung des Trigeminus eine Ernährungsstörung der Hornhaut in Gestalt einer rasch fortschreitenden eitrigen Entzündung ein, die gewöhnlich in völlige Zerstörung des Augapfels ausgeht. Die begleitende Hyperämie entwickelt sich allmählig zu einer sehr bedeutenden Höhe, und ist wohl zu unterscheiden von einer als unmittelbare Folge der Durchschneidung auftretenden Hyperämie, die besonders an den Irisgefässen nachzuweisen ist (vielleicht auch in geringem Grade an den Gefässen der Bindehaut) und welche auch nach Durchschneidung des Sympathicus beobachtet wird. Auffallend ist, dass nach Cl. Bernard bei der nach Trigeminus-

1) Ein von Waldeyer zum Beweis für die Existenz der Saftcanälchen angestellter Versuch (dieses Handb. I. 1. S. 181) hat Krückow und mir das entgegengesetzte Resultat geliefert. Die Hornhaut wird auf eine Röhre aufgebunden, in eine Lösung von Eisenvitriol getaucht und die Röhre evacuirt. Das Eisenoxydulsalz dringt durch die Hornhaut durch und nach Behandlung mit Ferridcyankalium soll die blaue Färbung an Schnitten überall im Bereich der Saftcanälchen sich erkennen lassen. Wir erhieltem bei diesem Versuch nur die bekannten negativen Bilder, es schien daher nur einfache Diffusion stattzufinden und die Evacuirung ohne wesentlichen Einfluss zu sein. Nicht diffundirende Flüssigkeiten, wie Alkannin-Terpentinöl oder Hg liessen sich weder bei niedrigem, noch sehr hohem Druck (700 Mm. Hg u. darüber) durch die Hornhaut pressen, auch nicht wenn die *Membr. Descemetii* und das Epithel entfernt und die Oberfläche vielfach eingeritzt war.

durschneidung auftretenden Entzündung die locale Temperatursteigerung fehlt, ja dass die Temperatur sogar niedriger sein soll als auf der anderen Seite.

Im Beginn der Entzündung beobachtete Bernard auch eine stärkere Vorwölbung der getrübten Hornhaut, die wohl nur durch die Resistenzverminderung ihres Gewebes erklärt wird, da der Augendruck gleichzeitig herabgesetzt ist.

Weit entfernt, dass Sympathicusdurchschneidung dieselben Folgen für die Hornhaut nach sich zieht, giebt Bernard an, dass vorherige Exstirpation des *Ganglion cervicale supr.* ihren Eintritt zu verzögern scheine. Dieselbe Angabe hat später Sinitzin wiederholt; es soll nach ihm die neuroparalytische Augenentzündung durch Ausreissen des oberen Halsganglions sogar völlig verhütet werden können. Eckhardt fand dagegen diese Angaben nicht bestätigt. Doch steht jedenfalls fest, dass die Sympathicusdurchschneidung die fragliche Ernährungsstörung nicht hervorruft.

Nach Durchschneidung des Trigeminus centralwärts vom *Ganglion Gasseri* tritt die Veränderung nach Magendie oft später ein. Schiff bezieht dies aber mehr auf nebensächliche Ursachen, da er bei halbseitiger Durchschneidung der *Medulla oblongata* dieselben Erscheinungen beobachtete. Cl. Bernard sah im Gegentheil die Hornhautveränderung bei centraler Durchschneidung ausbleiben und hält deshalb daran fest, dass sie von einer Zerstörung des Ganglions abhänge.

Meissner und Büttner haben gezeigt, dass zuweilen die neuroparalytische Keratitis trotz Anästhesie des Auges ausbleibt, wenn zufällig das am weitesten medial gelegene Bündel des Nerven undurchschnitten geblieben ist. Umgekehrt wurde einmal beobachtet, dass beim Versuch der Durchschneidung keine Anästhesie eintrat und trotzdem die gewöhnlichen Erscheinungen an der Hornhaut sich einstellten. Die Section zeigte darauf jenes mediale Bündel allein verletzt.

Neuerdings hat Merkel gefunden, dass dieses mediale Bündel des Trigeminus einen besonderen Ursprung im Gehirn hat, nämlich in den Vierhügeln, wohin schon Meynert eine Wurzel des Trigeminus verfolgt hatte. Merkel bezeichnet dieselbe mithin als trophische Wurzel, indem er für ausgemacht hält, dass neuroparalytische Entzündung auch bei Zerstörung des Trigeminus centralwärts vom Ganglion eintrete. Als Beleg führt er u. A. einen Versuch an, wo die beabsichtigte Durchschneidung des Nerven hinter dem Ganglion nur unvollständig gelungen war, und wo ausser bleibender Anästhesie eine rasch vorübergehende und geringgradige Keratitis aufgetreten war; die Section zeigte den Nerven hinter dem Ganglion unvollständig durchschnitten, wobei wiederum das mediale Bündel erhalten geblieben war.

Die aufgehobene Sensibilität und der dadurch wegfallende Schutz des Auges durch Lidbewegungen, sowie die Austrocknung wegen der aufgehobenen Thränensecretion sind zwar als wichtige Momente bei der Entstehung der neuroparalytischen Keratitis anzusehen, denn es gelingt, dieselbe durch sorgfältigen Schutz des Auges gegen alle äusseren Einflüsse zu verhüten (Snellen, Meissner und Büttner) am besten nach letzteren Autoren durch eine an die Umgebung des Auges sich fest anschliessende lederne Kappe, in der ein Uhrglas befestigt ist. Jene Einflüsse können aber nicht die einzigen Ursachen sein, da, wie soeben ausgeführt wurde, in manchen Fällen trotz völliger Anästhesie und mangelndem Schutze die Entzündung völlig ausbleibt und da sie umgekehrt bei Verletzung des Trigeminus sich einstellen kann, auch wenn das Auge empfindlich bleibt. Auch

hat nach Magendie und Anderen weder Durchschneidung des Facialis, noch Exstirpation der Thränendrüse dieselben Folgen wie die Trigeminusdurchschneidung. Die Schädlichkeiten, welche diie Entzündung hervorrufen und durch den Schutz des Auges abgehalten werden, können deshalb auch nicht allein gröbere Verletzungen sein, wie sie auch beim gesunden Thier Entzündungen nach sich ziehen. Hiermit steht im Einklang, dass das normale Kaninchenauge äusserst wenig gegen mechanische Insulte reagirt. Krükow hat auf meine Veranlassung Versuche über die Wirkung öfter wiederholter mechanischer Reizung der Hornhaut und Bindehaut angestellt und hat gefunden, dass beim Kaninchen durch einfache mechanische Reizung der Oberfläche des Bulbus, auch wenn sie sehr häufig wiederholt und längere Zeit fortgesetzt wird, keine erhebliche Entzündung hervorgebracht werden kann, vorausgesetzt, dass man grössere Substanzverluste und Verunreinigung des Auges vermeidet. Es trat nur ein Epithelverlust der Hornhaut mit sehr leichter Trübung und eine ganz umschriebene, mässig vascularisirte Wucherung oder Verdickung der Bindehaut an der Stelle der Reizung auf.

Es müssen also weniger in die Augen fallende Einwirkungen sein, welche die Entzündung hervorrufen, und es ist nicht unwahrscheinlich, dass es sich nach Eberth's Vermuthung um Keime niederer Organismen handelt, welche sich auf der nicht mehr geschützten und wenig befeuchteten Hornhaut ansiedeln und Entzündung erregen. Legt man indessen auf Meissner's Versuche Gewicht, so enthebt uns diese Annahme doch nicht ohne weiteres der Nothwendigkeit, mit diesem Forscher eine verminderte Widerstandsfähigkeit oder ein stärkeres Reactionsvermögen der Hornhaut auf Entzündungsreize nach Trigeminusdurchschneidung anzunehmen. Worin dieselbe besteht, muss späteren Forschungen vorbehalten bleiben, da mit der Annahme sog. trophischer Nerven nur ein Name aber keine Erklärung gewonnen wird.

Am Menschen ist bei Lähmung des Trigeminus neuroparalytische Keratitis häufig beobachtet, in anderen Fällen aber blieb sie auch trotz völliger Anästhesie der Hornhaut aus.

Ueber die nach Trigeminusdurchschneidung und Lähmung beobachtete Weichheit des Bulbus vergl. oben § 64.)

Literatur über die Circulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges.

Circulationsverhältnisse der Netzhaut.

1853. Coccius, Ueber die Anwendung des Augenspiegels. Leipzig. (Venenpuls.)

1853. van Trigt, Nederlandsch Lancet. — Ders., Der Augenspiegel und seine Anwendung etc., nach dem Holl. bearbeitet von Schauenburg. 1859. (Pulsationserscheinungen der Netzhaut.)

1854. E. Jaeger, Ueber die sichtbare Blutbewegung im menschl. Auge. Wien. Med. Wochenschr. N. 3—5.

1854. ——, Ueber Staar und Staaroperationen. Wien. (Beobachtung über Circulation in den Netzhautgefässen.)

1854. v. Gräfe, Notiz über die Pulsphänomene auf der Netzhaut. Arch. f. Ophth. I. 1. S. 382.

1855. Donders, Ueber die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegung im Auge. Arch. f. Ophth. I. 2. S. 75—105.
1855. Schiff, Untersuchungen zur Physiologie des Nervensystems. Frankf. a. M. (Einfluss des Trigeminus auf die Netzhautgefässe.)
1856. Vierordt, Die Wahrnehmung des Blutlaufs in der Netzhaut des eigenen Auges. Arch. f. physiol. Heilk. S. 255 ff.
1856. H. Müller, Anat.-physiolog. Untersuchungen über die Retina des Menschen u. der Wirbelthiere. Zeitschr. f. wissensch. Zool. VIII. H. Müller's ges. Schriften. I. S. 124. (Betheiligung der Choriocapillaris an der Ernährung der Netzhaut.)
1859. v. Gräfe, Ueber Embolie der Art. centr. retinae. etc. Arch. f. Ophth. V. 1. S. 136.
1859. R. Liebreich, Choroidealablösung. Ibid. V. 2. S. 259 ff. (Sichtbare Circulation in der Netzhaut bei patholog. Zuständen.)
1861. ——, Ueber Retinitis leucaemica und über Embolie der Art. centr. retinae. Deutsche Klinik. N. 50.
1863. Wordsworth, Note of a case in which pulsation was observed in the central retinal artery of a healthy eye, during a temporary faintness. Ophth. Hosp. Rep. IV. 1.
1863. Kugel, Ueber Collateralkreisläufe zwischen Chorioidea u. Retina. Arch. f. Ophth. IX. 3. S. 129—132.
1864. Rosow, Experimente über Durchschneidung des Sehnerven.— Ders., Ueber die Folgen der Durchschneidung des N. opt. Sitzungsber. d. Wiener Akad. math.-naturw. Cl. L.
1865. Th. Leber, Anatom. Unters. etc. loc. cit. S. 318—319. S. 323—324. (Sep.-Abdr. S. 22—23. S. 27—28).
1865. ——, Arch. f. Ophth. XI. 1. S. 4—13.
1865. Memorsky, Ueber den Einfluss des intraocularen Druckes auf die Blutbewegung im Auge. Arch. f. Ophth. XI. 2. S. 84 ff.
1866. Steffan, Ueber embolische Retinalveränderungen. Ibid. XII. 1. S. 34. ff.
1866. v. Graefe, Arch. f. Ophth. XII. 2. S. 141. (Sichtbare Netzhautcirculation bei Neuritis des Sehnerven.)
1866. ——, Ibid. XII. 2. S. 207—211. (Verhalten der Netzhautcirculation bei Cholera.)
1868. Quincke, Beobachtungen über Capillar- und Venenpuls. Berl. kl. Wochenschr. N. 34.
1868. Mauthner, Lehrb. d. Ophthalmoscopie. Wien. S. 243—248. 330—347.
1868. Coccius, Der Mechanismus der Accommodation des menschl. Auges. Leipzig. Verhalten der Netzhautgefässe bei der Ohnmacht. S. 39. Einfluss anhaltenden Sehens in die Nähe auf die Netzhautgefässe. S. 74. 107.)
1868. v. Hippel u. Grünhagen, Arch. f. Ophth. XIV. 3. (S. 234—235 Entoptische Beobachtung der Netzhautcirculation. S. 250 Einfluss der Reizung der Med. oblong. auf die Netzhautgefässe.)
1868. Iwanoff, Beitr. z. norm. u. pathol. Anatomie d. Froschglaskörpers. Centralbl. f. d. med. Wiss. N. 9. (Circulat. in d. Gefässen. d. Hyaloidea.)
1868. A. Weber, Ueber intraocul. Druck. Sitzungsber. d. ophth. Gesellsch. Zehend. Monatsbl. VI. S. 395 ff. (Einfluss von Circulationsstörungen auf die Netzhautgefässe.)
1869. Knapp, Embolie eines Zweiges der Netzhautarterie mit hämorarrhagischem Infarkt in der Netzhaut. Arch. f. Augen- und Ohrenheilkunde I. 1. S. 29 ff.
1869. H. Pagenstecher, Ein Fall von Verletzung des N. opt. mit Zerreissung der centralen Gefässe etc. Arch. f. Ophth. XV. 1. S. 223—243.
1869. Schöler, Experim. Beiträge zur Kenntniss der Irisbewegung. Inaug.-Diss. Dorpat. (Wirkung des N. sympath. auf die Netzhautarterien.)
1870. H. Berthold, Zur Erklärung des an d. Vena centr. ret. bemerkbaren Pulsphänomens. Zehend. Monatsbl. Ausserordentl. Beilageheft. VIII.
1870. Dobrowolski, Zur Lehre über die Blutcirculation im Augenhintergrunde des Hundes u. Menschen. Centralbl. f. d. med. Wissensch. N. 20. 21.

1870. Poncet, Signe de la mort tiré de l'examen du fond de l'oeil. Arch. gén. de méd. p. 408—424.
1871. Donders, Ueber die Stützung der Augen bei Blutandrang durch Ausathmungsdruck. Arch. f. Ophth. XVII. 1. S. 80—106.
1871. R. Berlin, Ueber Sehnervendurchschneidung. Zehend. Monatsbl. IX. S. 278 ff.
1872. O. Becker, Ueber die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegung in der menschlichen Netzhaut. Arch. f. Ophth. XVIII. 1. S. 206—296.
1872. Cohnheim, Untersuchungen über die embolischen Processe. Berlin.
1872. Th. Leber, Bemerkungen über die Circulationsverhältnisse des Opticus u. der Retina. Arch. f. Ophth. XVIII. 2. S. 25—37.
1873. Mauthner, Zur Lehre von der Embolie der Art. centr. ret. Wiener med. Jahrb. II.
1873. Meyhöfer, Embolie der Art. centr. retinae. Inaug.-Diss. Königsberg.
1873. O. Becker, Ueber spontanen Arterienpuls in der Netzhaut, ein bisher nicht beachtetes Symptom des Morbus Basedowii. Wien. med. Wochenschr. N. 24. 25.

Circulationsverhältnisse des Aderhauttractus.

1849. Brown-Séquard, De la prétendue nécessité d'une turgescence vasculaire de l'iris pour produire le resserrement de la pupille. Gaz. méd. de Paris. Ref. in Ann. d'Ocul. XXII. p. 163—166.
1852. Cl. Bernard, Sur l'influence du syst. nerv. grand sympath. sur la chaleur animale. Compt. rend. XXXIII.
1853. Budge, De l'influence de la moelle épinière sur la chaleur de la tête. Compt. rend. XXXVI. p. 377—378.
1853. Waller, Neuvième Mém. sur le systeme nerv. (Einfluss des Sympathicus u. Halsmarks auf die Gefässe des Auges.) Compt rend. XXXVI. p. 378—385.
1855. Budge, Ueber die Bewegung der Iris. Braunschweig.
1855. Schiff, Unters. z. Physiol. d. Nervensystems. Frankf. a. M.
1856. Donders, Ueber die sichtb. Ersch. d. Blutbewegung im Auge. Arch. f. Ophth. I. 2. S. 104—105.
1856. Kussmaul, Untersuchungen über den Einfluss, welchen die Blutströmung auf die Bewegungen der Iris u. anderer Theile des Kopfes ausübt. Verhandl. d. phys.-med. Ges. in Würzburg. VI. S. 1. ff.
1856. Waller, Observ. microscop. sur la circulation du sang dans les vaisseaux de l'oeil, vue en transparence sur le vivant. Compt. rend. T. XLIII. p. 659—663. u. Gaz. hebd. 1856. N. 42. p. 737—738.
1856. Rouget, Note sur la structure de l'oeil etc. (Einfluss der Ciliarmuskelcontraction auf den Blutgehalt der Ciliarfortsätze.) Compt. rend. et Mém. de la Soc. de Biolog. p. 113—132.
1857. Schneller, Ein Mikrometer am Augenspiegel u. damit ausgeführte Untersuchungen über den Einfluss bestimmter Eingriffe auf die Circulation in den Augen lebender Kaninchen. Arch. f. Ophth. III. 2. S. 121 ff.
1857. Snellen, De invloed der zenuwen op de ontsteking, proefondervindelijk getoest. Utrecht. Deutsch in Arch. f. d. holl. Beiträge I. S. 206.
1858. R. Liebreich, Histolog.-ophthalmoscop. Notizen. Arch. f. Ophth. IV. 2. S. 294—295. (Beobachtung der Circulation in den Aderhautvenen des Kaninchens.)
1859. Kuyper, Onderzoek. betr. de kunstmatige verwijding van d. oogappel. Diss. Abgedr. in 1. jaarl. versl. v. h. Nederl. Gasth. v. ooglijd. Utrecht 1860. (Einfluss d. N. symp. auf die Irisgefässe.)
1859. Roser, Ueber Klappenwirkung beim sog. Glaucom. Arch. f. physiol. Heilkunde. N. F. III. S. 128—130.
1862. Cl. Bernard, Recherch. expér. sur les nerfs vasc. et calorif. du grand sympathique. Compt. rend. LV. p. 228.

1863. Hamer, Over de antimydriatische werking van Calabar-bean. Nederl. Tijdschr. v. Geenesk. 1863. 4. jaarl. versl. v. h. Nederl. gasth. v. ooglijd. Utrecht.

1863. Büttner, Ueber die nach der Durchschneidung des Trigeminus auftretenden Ernährungsstörungen am Auge. Zeitschr. f. rat. Medicin. (3) XVI.

1863. Dmitrowski, Russ. Inaug.-Diss. Petersburg. (Cit. nach Schöler, Irisbewegung. S. 44 Note.)

1863—64. O. Becker, Ueber die Lage u. Function der Ciliarfortsätze im lebenden Menschenauge. Wien. med. Jahrb.

1865. Th. Leber loc. cit.

1866. Wegner, Exper. Beitr. z. Lehre v. Glaucom. Arch. f. Ophth. XII. 2. S. 1 ff.

1867. Meissner, Ueber die nach der Durchschneidung des Trigeminus am Auge des Kaninchens eintretende Ernährungsstörung. Zeitschr. f. rat. Med. (3). XXIX. S. 96 ff.

1867. Salkowski, Ueber das Budge'sche Ciliospinalcentrum. Zeitschr. f. rat. Med. (3) XXIX. S. 167 ff.

1868. Hensen u. Völckers, Experimentaluntersuchung über d. Mechanism. d. Accommodation. Kiel.

1868. Coccius, Der Mechanism. d. Accomodation. Leipzig.

1868. Stellwag v. Carion, Der intraoculare Druck u. die Innervationsverhältnisse der Iris. Wien.

1868. v. Hippel u. Grünhagen, Ueber d. Einfluss d. Nerven auf d. Höhe d. intraocularen Druckes. Arch. f. Ophth. XIV. 3. (Einfl. d. Trigeminusreizung auf die Aderhautgefässe. S. 250).

1869. F. Arlt jun., Beitr. z. Kenntn. d. Zeitverhältnisse bei d. Bewegungen d. Iris. Arch. f. Ophth. XV. 1. S. 294 ff.

1869. Schöler, Experim. Beitr. z. Kenntniss d. Irisbewegung. Dorpat.

1869. O. Becker, Ueber die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegung in der menschl. Netzhaut. Arch. f. Ophth. XVIII. 1. S. 287—288. (Einfluss von Druck auf das Auge auf die Circulation in den Aderhautgefässen des albinot. Kaninchens.)

Circulationsverhältnisse der äusserlich sichtbaren Gefässe.

1853. Waller, Compt. rend. XXXVI. loc. cit.

1858. Cl. Bernard, Leçons sur la physiologie et la path. du syst. nerveux. Paris. p. 473.

1863. Büttner, Zeitschr. f. rat. Med. (3) XVI.

1864. van Woerden, 5. Jahresb. d. Utrechter Augenheilanst. l. cit.

1864. Donders, ibidem.

1865. Th. Leber, loc. cit.

1870. v. Hippel u. Grünhagen, Arch. f. Ophth. XVI. 1.

Intraocularer Druck.

1850. C. Weber, Nonnullae disquisitiones quae ad facultatem oculum rebus longinquis et propinquis accommodandi spectant. Diss. inaug. Marburg.

1863. Snellen, De neuroparalyt. oogontsteking welke sich bij trigeminus-paralyse ontwikkelt. 4. Jahresber. der Augenklinik z. Utrecht.

1864. Donders, Ueber Glaucom. Sitzungsber. d. ophth. Gesellsch. Zehend. Monatsbl. II. S. 139—143.

1864. Förster, Zur Kenntniss des Accommodationsmechanismus. Ibid. S. 74 ff.

1864. Schelske, Ueber das Verhältniss des intraocularen Druckes u. der Hornhautkrümmung des Auges. Arch. f. Ophth. X. 2. S. 1—46.

1866. Grünhagen, Ueber intraocularen Druck. Sitzber. d. Vereins f. wissensch. Heilk. z. Königsberg v. 27. März 1866. Berl. klin. Wochenschr. N. 24.

1866. Adamük, Manometrische Bestimmungen des intraocularen Druckes. Centralbl. f. d. med. Wissensch. N. 36.

1866. Grünhagen, Untersuchungen, den intraocularen Druck betreffend. Zeitschr. f. rat. Med. 3. XXVIII. S. 238—248.
1866. Völckers u. Hensen, Studien über Accommodation. Vorl. Mitth. Centralbl. f. d. med. Wiss. N. 46.
1866. Wegner, Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Glaucom. Arch. f. Ophth. XII. 2. S. 1. ff.
1867. Adamük, Zur Lehre vom Einfluss des Sympathicus auf den inneren Augendruck. Centralbl. f. d. med. Wiss. N. 28. S. 433—436.
1867. ——, de l'étiologie du glaucome. Ann. d'Ocul. LVIII. juill. août.
1868. Hensen u. Völckers, Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Accommodation. Kiel. S. 40.
1868. Coccius, Der Mechanismus der Accommodation des menschl. Auges. Leipzig. S. 50. 107 ff.
1868. v. Hippel u. Grünhagen, Ueber den Einfluss der Nerven auf die Höhe des intraocularen Druckes. Arch. f. Ophth. XIV. 3. S. 219—258.
1868. Adamük, Noch einige Bemerkungen über den Intraoculardruck. Sitzber. d. ophth. Gesellsch. Zehend. Monatsbl. VI. S. 386—393.
1868. Stellwag v. Carion, Der intraoculare Druck u. die Innervationsverhältnisse der Iris. Wien.
1868. Monnik, Tonometers en Tonometrie. Acad. proefschr. 1868 Utrecht; auch abgedr. in 10. jaarl. Versl. Ned. gasth. v. ooglijd. 1869.
1868. Dor, Ueber Ophthalmotonometrie. Arch. f. Ophth. XIV. 1. S. 13.
1868. A. Weber (Discussion über die Untersuchungen von Adamük u. v. Hippel u. Grünhagen). Sitzber. d. ophth. Gesellsch. Zehend. Monatsbl. VI. S. 395—405.
1869. v. Hippel u. Grünhagen, Ueber den Einfluss der Nerven auf die Höhe des intraocularen Druckes. Forts. Arch. f. Ophth. XV. 1. S. 265—287.
1869. Adamük, Neue Versuche über den Einfluss des Sympathicus u. Trigeminus auf Druck u. Filtration im Auge. Sitzber. d. k. Akad. d. Wissensch. z. Wien. math. natw. Cl. LIX. 2. Abth. Febr.
1869. Schöler, Experimentelle Beiträge zur Kenntniss der Irisbewegung. Inaug.-Diss. Dorpat.
1870. Adamük, De l'action de l'atropine sur la pression intraoculaire. Ann. d'Ocul. LXIII. Mars. avr. p. 108—113.
1870. v. Hippel u. Grünhagen, Ueber d. Einfl. d. Nerven etc. Schluss. Arch. f. Ophth. XVI. 1. S. 27—48.
1870. Monnik, Ein neuer Tonometer u. sein Gebrauch. Arch. f. Ophth. XVI. 1. S. 49—89.
1872. E. Pflüger, Beiträge zur Ophthalmotonometrie. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilk. II. 2. S. 1—49.
1872. Piéchaud, Essai sur les phénomènes morbides de la pression intraoculaire. (Compilation.) Paris.
1872. Exner, Ueber die physiol. Wirkung der Iridektomie. Sitzber. d. Wien. Ak. LXV. 3. Abth. Maiheft.
1873. Nagel, Ueber vasomotorische u. secretorische Neurosen des Auges. Sitzber. d. ophth. Gesellsch. Zehend. Monatsbl. XI. S. 400.

Vergl. auch die Literatur über Tonometrie (dieses Handb. II. 1. S. 193—194), von welcher diejenigen Arbeiten, welche nur über die Methode handeln, hier nicht mit aufgeführt sind.

Secretion u. Absorption der intraocularen Flüssigkeiten.

1707. Méry, Sçavoir si le glaucoma et la cataracte sont deux différentes ou une seule et même maladie. Mém. de l'acad. des Sc. p. 498—499.
1755. Zinn, Descr. anat. oc. hum. Goett.

1757. Albr. v. Haller, Elementa physiol. V. p. 412.
1806. Beer, Ansicht von der staphylomatosen Metamorphose des Auges u. der kunstlichen Pupillenbildung. Wien. S. 50.
1865. Memorsky, Arch. f. Ophth. XI. 2. loc. cit.
1869. Adamuk, Neue Versuche über den Einfluss des Symp. u. Trigem. auf Druck u. Filtration im Auge. Sitzber. d. Wien. Acad. math. naturw. Cl. LIX. 2.
1870. G. Schwalbe, Untersuchungen über die Lymphräume d. Auges. Arch. f. mikr. Anat. VI. S. 261 ff.
1871. E. Riesenfeld, Zur Frage über die Transfusionsfähigkeit der Cornea u. die Resorption aus der vorderen Augenkammer. Inaug.-Diss. Berlin.
1873. Th. Leber, Studien über den Flüssigkeitswechsel im Auge. Arch. f. Ophth. XIX. 2. S. 87—185.

Resorption an der Hornhautoberfläche u. Ernährung der Hornhaut.

1852. Coccius, Ueber die Ernährungsweise der Hornhaut u. über die serumführenden Gefässe im menschlichen Körper. Leipzig.
1853. de Ruiter, Diss. physiol.-med. de actione belladonnae in iridem. Traj. ad Rhen.
1855. Gosselin, Mém. sur le trajet intra-oculaire des liquides absorbés à la surface de l'oeil (lu à l'acad. de Méd. 7 aôat 1855.) Gaz hebd. N. 36. 39.
1865. Memorsky, loc. cit.
1865. Bence Jones, Proceedings of the Royal Inst. of Gr. Brit. IV. p. VI. N. 42. Oct. (Ref. in Zehend. Monatsbl. XII. S. 152—153.)
1867. Tichomiroff, Material z. Studium der Frage über die Diffusionserscheinungen durch die lebende Hornhaut. Russ. Inaug.-Diss. Petersburg.
1869. Wysotzky, Moskauer med. Zeitung. N. 20. Ueber denselben Gegenstand.
1869. Kisselow, Zur Frage über die Durchdringbarkeit von Flüssigkeiten durch die Hornhaut eines lebenden Menschen. Russ. Inaug.-Diss. Petersburg u. Med. Wiestnik. N. 21—23. (Referat über die drei vorhergehenden Arbeiten in Zehend. Monatsbl. 1873. S. 130—131.
1872. Laqueur, Ueber die Durchgängigkeit der Hornhaut für Flüssigkeiten. Centralbl. f. d. med. Wiss. N. 37.
1873. Lilienfeld, Der Uebergang einiger Substanzen aus dem Conjunctivalsack in das Wasser der vorderen Augenkammer. Inaug.-Diss. Rostock u. Zehend. Monatsbl. XI. 1. Ausserordentl. Beilageheft.

Ernährungsstörung der Hornhaut nach Trigeminusdurchschneidung.

1824. Magendie, De l'influence de la Ve paire de nerfs sur la nutrition et les fonctions de l'oeil. Journ. de physiol. expér. et path. T. IV. p. 176. 302.
1855. Schiff, Unters. z. Physiologie d. Nervensystems. Frankf. a. M.
1857. Snellen, Der Einfluss der Nerven auf die Entzündung. Arch. f. d. holländ. Beitr. z. Natur- u. Heilk. I. 3.
1858. Cl. Bernard, Leçons sur la physiol. et la pathol. du syst. nerveux. Paris. T. II.
1863. Büttner, Ueber die nach Durchschneidung des Trigem. auftretenden Ernährungsstörungen am Auge. Zeitschr. f. rat. Med. (3) XVI.
1867. Meissner, Ueber die nach der Durchschneidung des Trigeminus am Auge des Kaninchens eintretende Ernährungsstörung. ibid. 3. XXIX. S. 96 ff.
1871. Sinitzin, Zur Frage über den Einfluss des N. sympath. auf das Gesichtsorgan. Vorl. Mitth. Centralbl. f. d. med. Wiss. N. 11.
1873. C. Eckhardt, Bemerkungen zu dem Aufsatz des Herrn Sinitzin: Zur Frage über den Einfluss des Symp. auf das Gesichtsorgan. Ibid. N. 35. S. 548—550.
1873. Eberth, Die Keratitis nach Trigeminusdurchschneidung. Centralbl. f. d. med. Wissensch. N. 32.
1874. Merkel, Die trophische Wurzel des Trigeminus. Unters. aus d. anatom. Institut zu Rostock. Rostock.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

Capitel IX.

Physiologische Optik

von

Professor **Aubert**
in Rostock.

Einleitung.

§ 1. Die physiologische Optik hat die Bedingungen festzustellen, welche zum Sehen erforderlich sind: diese Bedingungen lassen sich in drei Gruppen bringen, deren erste die Bewegung des Lichtes durch die brechenden Medien des Auges umfasst. Es ist nachzuweisen, welchen Weg das von einem Punkte der Aussenwelt ausstrahlende Licht in den Augenmedien nimmt oder die Brechung des Lichtes durch die Augenmedien. Die Hauptaufgabe dieses Abschnittes ist, nachzuweisen, unter welchen Bedingungen das von einem Punkte ausstrahlende Licht auf einem Punkte der empfindenden Netzhautschicht wieder vereinigt wird, und unter welchen Bedingungen das nicht der Fall ist. Man bezeichnet diesen Abschnitt als die D i o p t r i k d e s A u g e s. Die zweite Gruppe umfasst die durch das Licht erregten Lichtempfindungen, welche zu unserm Bewusstsein kommen und hat im Wesentlichen festzustellen d a s V e r h ä l t n i s s o b j e c t i v e n L i c h t e s z u r L i c h t e m p f i n d u n g, selbstverständlich den Fall mit einbegriffen, in welchem das objective Licht = 0 wird. Die dritte Gruppe der zum Sehen erforderlichen Bedingungen stellt die Benutzung der Lichtempfindungen zur Erkenntniss der Aussenwelt oder des objectiv Gegebenen fest — anders ausgedrückt: die Combination der Lichtempfindungen mit Vorstellungen und anderen Empfindungen, wonach wir das Objective beurtheilen. Man bezeichnet diese Vorgänge als G e s i c h t s w a h r n e h m u n g e n.

I. Dioptrik des Auges.

§ 2. G a n g d e r L i c h t s t r a h l e n d u r c h b r e c h e n d e M e d i e n. Wir stellen uns vor, dass das Licht sich von einem leuchtenden Punkte aus gleich-

mässig nach allen Richtungen hin verbreitet, und bezeichnen eine einzelne dieser Richtungen als Lichtstrahl.

1) So weit das Medium, in welchem das Licht sich verbreitet, homogen ist, ist der Lichtstrahl als eine gerade Linie zu denken; wird das Medium, in welchem der Lichtstrahl verläuft, ein anderes, so ändert sich unter Umständen die Richtung. Und zwar bleibt die Richtung dieselbe, wenn der Lichtstrahl senkrecht zur Fläche des zweiten Mediums gerichtet ist — sie ändert sich, wenn er nicht senkrecht auf die Fläche des zweiten Mediums trifft: der Strahl wird dann theils in dem zweiten Medium abgelenkt, theils von der Grenzfläche der beiden Medien, der brechenden Fläche, unter demselben Winkel zum Einfallslothe, unter welchem er auffällt, zurückgeworfen. Die Grösse der Ablenkung des durchgehenden Lichtstrahles ist abhängig von dem Brechungsvermögen der beiden Medien, welches sich ergiebt aus dem Verhältnisse des Sinus des Einfallswinkels zu dem Sinus des Brechungswinkels. Ist n_1 das Brechungsvermögen des ersten, n_2 das des zweiten Mediums, α der Einfallswinkel, β der Brechungswinkel, so ist

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta.$$

Ist das erste Medium Luft, und wird für dieselbe $n_1 = 1$ gesetzt, so ist $n_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$, welche Grösse als **Brechungsindex** oder als **Brechungsexponent** des zweiten Mediums bezeichnet wird. — Für die Augenmedien werden die **Brechungsexponenten** experimentell zu bestimmen sein.

2) Ist die Grenzfläche der beiden Medien nicht eine Ebene, sondern eine Kugelfläche, deren Concavität dem ersten Medium, in welchem der Strahl geht, zugekehrt ist, MN (Figur 1) mit dem Radius ab, so wird, wenn p der leuchtende Punkt ist, der Strahl pb, welcher die Kugelfläche normal trifft, durch den Mittelpunkt der Kugelfläche a ungebrochen weiter gehen; ein anderer Lichtstrahl pc treffe die Kugelfläche in c; das Einfallsloth für diesen Punkt ist dca: ist der Brechungsexponent des zweiten Mediums grösser als der des ersten, so wird der Strahl pc so gebrochen, dass er die Linie pa in der Verlängerung in einem Punkte schneidet; dieser Punkt sei q, dessen Lage sich ergiebt aus der Bedingung

Fig. 1.

$$n_1 \sin (pcd) = n_2 \sin (qca) \quad \ldots \quad 1$$

wenn n_1 das Brechungsvermögen des ersten Mediums vor der Kugelfläche, n_2 das des zweiten Mediums hinter der Kugelfläche bedeutet.

Nun verhält sich in dem Dreiecke pca

$$\frac{\sin (pca)}{\sin (cpa)} = \frac{ap}{ac}$$ und in dem Dreiecke aqc:

$$\frac{\sin (acq)}{\sin (cqa)} = \frac{aq}{ac}.$$

Wird die erste dieser Gleichungen durch die zweite dividirt, so erhält man

$$\frac{\sin(pcd)}{\sin(acq)} \cdot \frac{\sin(cqa)}{\sin(cpa)} = \frac{ap}{aq};$$

da nun nach 1) $\frac{\sin(pcd)}{\sin(qca)} = \frac{n_2}{n_1}$

und in dem Dreieck pcq sich verhält

$$\frac{\sin(cqa)}{\sin(cpa)} = \frac{cp}{cq}$$

so ergiebt sich $\frac{n_2\,cp}{n_1\,cq} = \frac{ap}{aq}$ . . . . 2)

Der Werth $aq = \frac{n_1\,cq \cdot ap}{n_2\,cp}$ oder $bq = ba + \frac{n_1\,cq \cdot ap}{n_2\,cp}$, d. h. die Entfernung vom Mittelpunkte oder vom Scheitelpunkte der Kugeloberfläche bis zum Schneidepunkte hängt also ausser von dem Radius und dem Brechungsexponenten ab von der Entfernung des leuchtenden Punktes und von der Lage des Punktes c, in welchem der Lichtstrahl die Kugelfläche trifft.

Bei Beschränkung auf Strahlen, welche sehr nahe bei b, also der Axe, auftreffen, können wir ohne merklichen Fehler setzen $pc = pb$ und $cq = bq$, woraus 2) alsdann wird

$$\frac{n_2 \cdot bp}{n_1 \quad bq} = \frac{ap}{aq} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 2^b)$$

Setzen wir nun $pb = f_{,}$, $bq = f_{,,}$, $ap = g_{,}$, $aq = g_{,,}$, $ab = r$, so dass $f_{,} + r = g_{,}$ und $f_{,,} - r = g_{,,}$

so wird 2b) $\frac{n_2 f_{,}}{n_1 f_{,,}} = \frac{f_{,} + r}{f_{,,} - r}$ oder $\frac{n_2\,(g_{,} - r)}{n_1\,(g_{,,} - r)} = \frac{g_{,}}{g_{,,}}$

Daraus erhält man durch Umformung

$$n_2 f_{,}\,(f_{,,} - r) - n_1 f_{,,}\,(f_{,} - r) = 0$$

$$\frac{n_2 f_{,} f_{,,} - n_1 f_{,,} f_{,}}{r} = n_2 f_{,} + n_1 f_{,,}$$

$$\frac{(n_2 - n_1)\,f_{,} f_{,,}}{r} = n_2 f_{,} + n_1 f_{,,}$$

und endlich $\frac{n_2 - n_1}{r} = \frac{n_2}{f_{,,}} + \frac{n_1}{f_{,}}$

und in gleicher Weise $\frac{n_2 - n_1}{r} = \frac{n_2}{g_{,}} + \frac{n_1}{g_{,,}}$ } . . . . . 3)

aus denen $f_{,,}$ oder $g_{,,}$ bestimmt werden kann.

Bezeichnen wir für den Fall, dass die Strahlen von einem unendlich entfernten Punkte kommen, wo also $f_{,}$ und damit auch $g_{,} = \infty$ wird, den conjugirten Punkt $f_{,,}$ bezw. $g_{,,}$ mit $F_{,,}$ bezw. $G_{,,}$, so wird

$$F_{,,} = \frac{n_2\,r}{n_2 - n_1}; \; G_{,,} = \frac{n_1\,r}{n_2 - n_1} \quad 4^a)$$

und entsprechend, wenn $f_{,,}$ und $g_{,,} = \infty$ werden, so wird

$$F_{,} = \frac{n_1\,r}{n_2 - n_1} = G_{,,}; \; G_{,} = \frac{n_2\,r}{n_2 - n_1} = F_{,,} \quad . \; . \; . \quad 4^b)$$

Wir nennen in diesem Falle $F_{,}$ die vordere Brennweite, $F_{,,}$ die hintere Brennweite des zweiten Mediums, den Ort des leuchtenden Punktes bei $f_{,,} = \infty$ den vorderen Brennpunkt, bei $f_{,} = \infty$ dagegen den Punkt, in welchem die Strahlen die Axe schneiden, den hinteren Brennpunkt. — Der leuchtende Punkt $f_{,}$ und der Kreuzungs- oder Vereinigungspunkt der Strahlen im zweiten Medium $f_{,,}$, welcher der Bildpunkt des leuchtenden Punktes genannt

wird, stehen daher in einem bestimmten Verhältnisse zu einander und werden **conjugirte Punkte** genannt.

Für diese conjugirten Punkte ergeben sich nun aus 3) und 4) folgende Verhältnisse:

$$\left.\begin{array}{l}\frac{F_{,}}{f_{,}}+\frac{F_{,,}}{f_{,,}}=1 \\ \frac{G_{,}}{g_{,}}+\frac{G_{,,}}{g_{,,}}=1\end{array}\right\} \quad 5)$$

und daraus bei Auflösung der Gleichungen nach $f_{,}$ und $f_{,,}$ hin

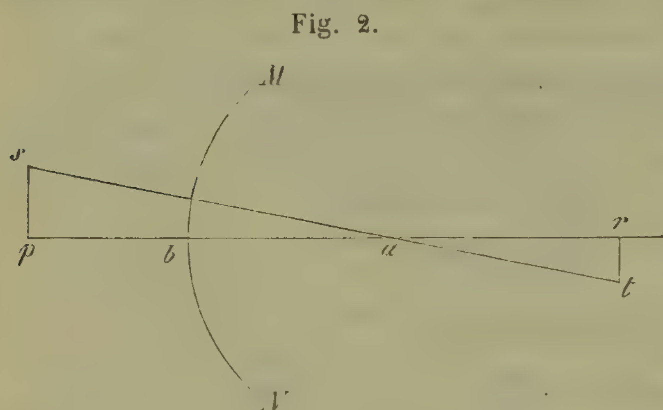
$$\left.\begin{array}{l}f_{,}=\frac{F_{,}f_{,,}}{f_{,,}-F_{,,}} \\ f_{,,}=\frac{F_{,,}f_{,}}{f_{,}-F_{,}}\end{array}\right\} \quad 5^{a})$$

Diese Formeln gelten auch für den Fall, dass der leuchtende Punkt sich, statt in p, in q befindet, nur sind dem entsprechend die Indices der Buchstaben zu vertauschen, so dass die Formeln 3) dann werden:

$$\frac{n_1-n_2}{r}=\frac{n_2}{f_{,,}}+\frac{n_1}{f_{,}} \text{ und } \frac{n_1-n_2}{r}=\frac{n_2}{g_{,}}+\frac{n_1}{g_{,,}}. \quad 6)$$

Befindet sich der leuchtende Punkt nicht in der Axe der kugelförmigen brechenden Fläche, ist also in Figur 2 pba die Axe der brechenden Fläche und s ein zweiter leuchtender Punkt, so wird von seinen Strahlen einer durch den Mittelpunkt a der Kugelfläche MN hindurchgehen und es gilt die obige Ableitung auch für den Punkt s: der diesem Punkte zugehörige conjugirte Punkt t wird dann gleichfalls auf der verlängerten Axe sa liegen. Es sei der Winkel, welchen der Strahl sa mit der Axe pa bildet, sehr klein, und es liege der Punkt t in einem Abstande $= rt$ von der Axe und $= at$ vom Mittelpunkte der Kugelfläche.

Fig. 2.



Setzt man $sa = \gamma_{,}$ und $at = \gamma_{,,}$, so ist nach der Gleichung 5)

$$\frac{G_{,}}{\gamma_{,}}+\frac{G_{,,}}{\gamma_{,,}}=1.$$

Ist pa wieder $= g_{,}$, $ar = x$ und der Winkel $sap = \alpha$, so ist

$$\gamma_{,}=\frac{g_{,}}{\cos\alpha},\ \gamma_{,,}=\frac{x}{\cos\alpha},$$

mithin $\frac{G_{,}}{g_{,}}+\frac{G_{,,}}{x}=\frac{1}{\cos\alpha}$.

Wenn α so klein angenommen wird, dass man $\cos a = 1$ setzen kann, so wird auch

$$\frac{G_{,}}{g_{,}}+\frac{G_{,,}}{x}=1$$

also $x = g_{,,}$, mithin r der Bildpunkt von dem leuchtenden Punkte p.

Die Punkte zwischen p und s, oder die Linie ps wird sich nun auch in der Linie rt abbilden müssen. Bezeichnen wir ps mit $\beta_{,}$, rt mit $-\beta_{,,}$, weil es in Bezug auf die Axe par die entgegengesetzte Lage von $\beta_{,}$ hat, so ist

$$\frac{-\beta_{,}}{\beta_{,,}}=\frac{g'}{g''},$$

und wenn wir für $g_{,}$ und $g_{,,}$ die in 5) gefundenen Werthe einsetzen,

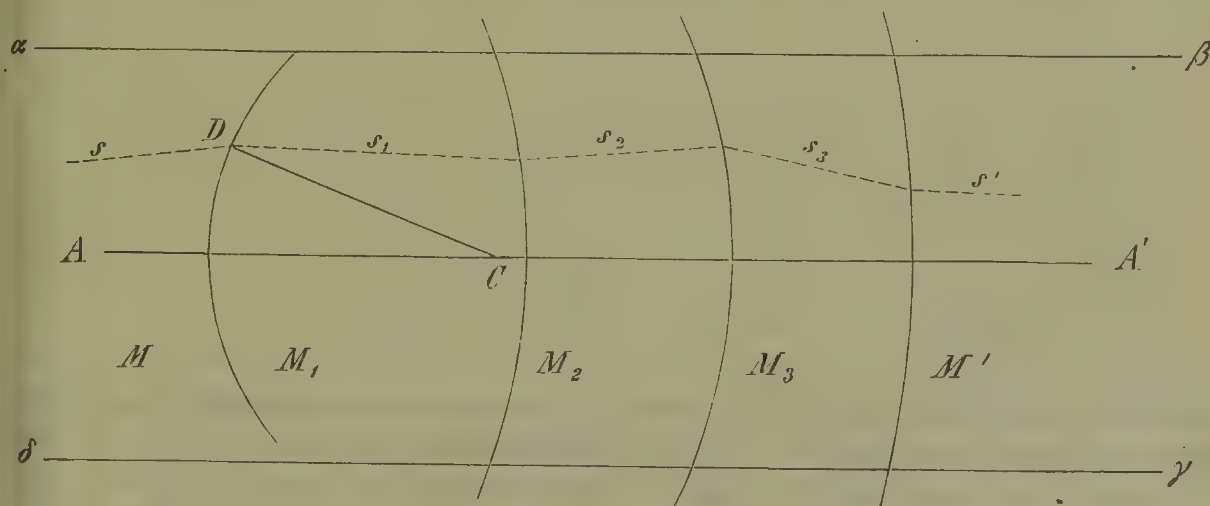
$$\left.\begin{aligned}\frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}} &= \frac{G_{,,}}{G_{,} - g_{,}} = \frac{G_{,,} - g_{,,}}{G_{,}} \\ &= \frac{F_{,}}{F_{,} - f_{,}} = \frac{F_{,,} - f_{,,}}{F_{,,}}\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad 7)$$

Die Grösse des Bildes $\beta_{,,}$ berechnet sich also aus der Grösse des Objectes $\beta_{,}$, seinem Abstande von der brechenden Fläche und der vorderen oder der hinteren Brennweite. (S. Helmholtz, Physiol. Optik p. 42—47.)

3) Sind, wie beim Auge, mehrere brechende Medien mit verschiedenen kugligen Krümmungsflächen gegeben, so lassen sich die gegebenen Formeln anwenden, indem man das von dem Objecte in dem zweiten brechenden Medium entworfene Bild wieder als Object für das dritte Medium betrachtet u. s. w. Während wir aber bei einer Kugelfläche den Scheitelpunkt derselben als den Punkt annehmen, von welchem aus die Brennweite gefunden wird, ist dies für mehrere brechende Flächen nicht mehr in gleicher Weise ausführbar; vielmehr müssen wir, um die Brennweite eines brechenden Systems zu bestimmen, besondere Punkte für dasselbe aufsuchen, von welchen aus wir die Brennweiten des combinirten Systems rechnen. Diese Punkte sind von Gauss bestimmt und Hauptpunkte genannt worden. (Dioptrische Untersuchungen, Göttingen 1841 p. 13.) Im Folgenden lasse ich zunächst die Ableitung und Charakterisirung dieser Punkte nach der Darstellung von C. Neumann (Die Haupt- und Brennpunkte eines Linsensystems, Leipzig 1866) folgen.

Es sei ein System zusammengesetzt aus beliebig vielen durchsichtigen Medien, welche (Fig. 3) mit M, M_1, M_2, ... und deren letztes mit M' bezeichnet

Fig. 3.



werde. Die begrenzenden Flächen seien Kugelflächen, deren Centra sämmtlich in der Axe AA' des Cylinders $\alpha\beta\gamma\delta$ liegen, und es seien die Winkel, unter welchen die eintretenden Lichtstrahlen s, s_1, s_2 ..... s' gegen die Axe geneigt sind, so klein, dass die Sinus und Tangenten der Winkel gleich den Winkeln selbst gesetzt werden können und desgleichen diejenigen Winkel, welche die Radien der Kugelflächen DC u. s. w. mit der Axe des Systems bilden. Denken wir uns beliebig viele, etwa 100 Linien s, welche von ein und demselben Punkte L (dem leuchtenden Punkte) ausgehen, so müssen sich diese in dem zweiten

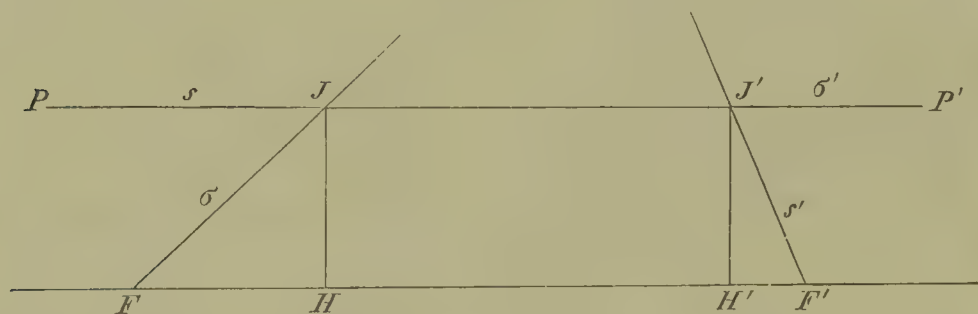
Medium M_1 sämmtlich durchkreuzen in einem Punkte L_1, dem zu L conjugirten Punkte (dem Bildpunkte).

Die Linien s_1 können weiter als Linien angesehen werden, welche sämmtlich von L_1 ausgehen, und sich daher in dem dritten Medium M_2 wiederum in einem einzigen Punkte L_2 durchkreuzen werden, welcher dem Punkte L_1 conjugirt ist und dasselbe wird für die Linien s_2, s_3, ... s' gelten. Durchkreuzen sich also die eintretenden Strahlen in einem einzigen Punkte, so gilt dasselbe von den austretenden Strahlen. Gehen die Strahlen von einem einzigen Punkte aus, so müssen sie nach dem Durchgange durch das System sich in einem einzigen Punkte durchkreuzen — diese Punkte sind die conjugirten Punkte. — Für einen anderen in der Axe des Systems gelegenen leuchtenden Punkt A wird sich ebenso ein conjugirter Punkt A' ergeben, und nehmen wir an, dass der leuchtende Punkt in unendlicher Entfernung liegt, so möge der ihm conjugirte Punkt mit F' bezeichnet werden. Ebenso wird es einen leuchtenden Punkt im ersten Medium geben, von welchem Strahlen so ausgehen, dass sie im letzten Medium parallel zu einander werden: dieser Punkt sei F, der vordere Brennpunkt des Systems, während F' der hintere Brennpunkt ist.

Dasselbe muss unter den obigen Voraussetzungen gelten für Ebenen oder Punktsysteme, welche durch L und L', respective durch F und F' rechtwinklig zur Axe gelegt werden, d. h. es werden Ebenen, welche durch die conjugirten Punkte rechtwinklig zur Axe des Systems gelegt sind, zu einander perspectivisch sein.

Es sei in Figur 4 PP' eine zur Axe FF' parallele Linie; das Stück s derselben sei ein eintretender Strahl, der zugehörige austretende Strahl s' gehe in der

Fig. 4.



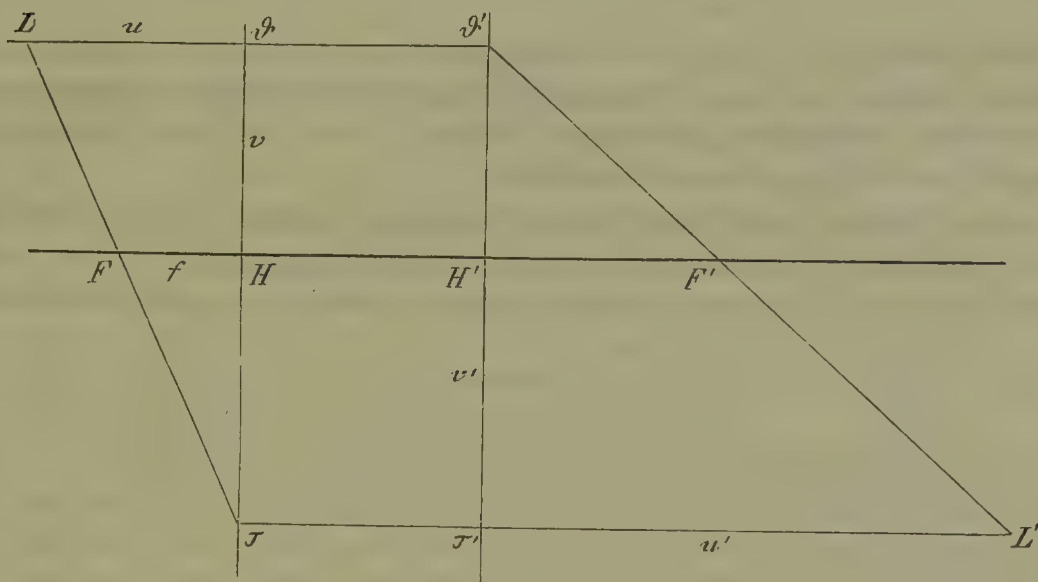
Linie $J'F'$, dann ist, da s parallel FF', F' der hintere Brennpunkt. Ebenso ist für den austretenden Strahl $\sigma' = J'P'$ der eintretende Strahl σ, welcher sich mit der Axe FF' in dem Punkte F, dem vorderen Brennpunkte schneiden muss.

Da nun unter s und σ zwei eintretende, unter s' und σ' die zugehörigen austretenden Strahlen verstanden werden, so wird auch der Schnittpunkt von s und σ conjugirt sein zu dem Schnittpunkte von s' und σ', also auch der Punkt J dem Punkte J'. Werden durch die Punkte J und J' die zur Axe senkrechten Ebenen JH und $J'H'$ gelegt, so werden die in diesen Ebenen gelegenen Punkte α, β, γ . . . . und α', β', γ' . . . . ebenfalls zu einander conjugirt sein; daher sind die Punktsysteme J, α, β, γ . . . und $J', \alpha', \beta', \gamma'$ . . . einander perspectivisch in Bezug auf irgend einen noch unbekannten Punkt, welcher in der Axe des Systems gelegen ist. Die Verbindungslinien JJ', $\alpha\alpha'$, $\beta\beta'$ . . . .

werden sich sämmtlich in einem einzigen Punkte schneiden, welcher auf der Axe liegt. Da nun JJ' parallel zur Axe ist, so muss der Schnittpunkt in unendlicher Ferne liegen, und dasselbe gilt für $\alpha\alpha'$, $\beta\beta'$ .... Daraus folgt folgender Satz: Es existiren zwei zur Axe senkrechte Ebenen, welche von jedweder mit der Axe parallel gezogenen Linie in zwei einander conjugirten Punkten geschnitten werden. Diese beiden Ebenen werden die Hauptebenen genannt, und ihre in der Axe gelegenen Punkte Hauptpunkte. Die eine Hauptebene ist das Bild der anderen. — Sind H und H' die Hauptpunkte, F und F' die Brennpunkte, so werden $FH = f$ und $F'H' = f'$ die beiden **Hauptbrennweiten** genannt.

Nennen wir einen unendlich entfernten Punkt im ersten Mittel, dessen Strahlen sich in F' durchkreuzen, Ω, und ebenso einen unendlich entfernten Punkt im letzten Mittel, dessen Strahlen sich in F kreuzen, Ω', so sind $\Omega F'$ und $\Omega' F$ zu einander conjugirte Punkte. Sind in Figur 5 ϑ und ϑ' zwei einander

Fig. 5.



conjugirte Punkte, in welchen die Hauptebenen von irgend einer Linie geschnitten werden, und ebenso Ω und F', so wird, wenn der eintretende Strahl von Ω nach ϑ geht, der austretende Strahl durch die Punkte $\vartheta' F'$ gehen. Construiren wir ferner auf den Hauptebenen irgend zwei einander conjugirte Punkte τ und τ', so wird, da $F\Omega'$ gleichfalls conjugirte Punkte sind, der eintretende Strahl $F\tau$ durch die Linie $\tau\tau'$ austreten nach Ω'. Die Linien $L\vartheta$, $L\tau$ stellen somit eintretende, die Linien $\vartheta' L'$, $\tau' L'$ die zugehörigen austretenden Strahlen dar: L und L' sind also conjugirte Punkte. Sind also die Brennpunkte FF' und die Hauptpunkte HH' bekannt, so kann für jeden beliebig gelegenen Punkt L der ihm conjugirte Punkt L' mit Hülfe der Construction in Fig. 5 erhalten werden. — Daraus lassen sich folgende Formeln ableiten:

Der Abstand des Punktes L von der vorderen Hauptebene sei $= u$, der Abstand desselben von der Axe $= v$; entsprechend der Abstand des Punktes L'

von der hinteren Hauptebene $= u'$, von der Axe $= v'$, die vordere Brennweite HF sei gleich f, die hintere Brennweite $H'F' = f'$, so ist in dem Dreieck $L\vartheta\tau$

$$HF : \vartheta L = \tau H : \tau\vartheta \text{ oder}$$

$$\frac{f}{u} = \frac{v}{v + v'} \quad \ldots \quad 8^a)$$

und entsprechend in dem Dreieck $L'\vartheta'\tau'$

$$\frac{f'}{u'} = \frac{v}{v + v'} \quad \ldots \quad 8^b)$$

daher

$$\frac{f}{u} + \frac{f'}{u'} = 1 \quad \ldots \quad 8^c)$$

Multiplicirt man 8^a) mit v, und 8^b) mit v', so erhält man

$$f\frac{v}{u} = f'\frac{v'}{u'} \quad \ldots \quad 8^d)$$

Kehren wir 8^a) um und ziehen auf beiden Seiten 1 ab, so erhalten wir

$$\frac{u - f}{f} = \frac{v}{v'} \text{ und statt } 8^b) \; \frac{u' - f'}{f'} = \frac{v'}{v} \quad \ldots \quad 8^e)$$

Durch Multiplication beider Ausdrücke erhält man

$$\frac{(u - f)}{f} \, \frac{(u' - f')}{f'} = 1$$

oder

$$(u - f)\,(u' - f') = ff' \quad \ldots \quad 8^f)$$

Sind also f und f' die beiden Hauptbrennweiten und LL' zwei zu einander conjugirte Punkte, so finden zwischen den Abständen u und v des Punktes L und zwischen den Abständen der Punkte u' und v' von L' die angegebenen Beziehungen zu den Hauptbrennweiten statt.

Es lässt sich nun noch eine andere Beziehung zwischen den beiden Punkten L und L' aufstellen, indem man statt der beiden Hauptpunkte H und H' zwei andere in der Axe gelegene Punkte einführt, welche gleichfalls in einem gegebenen System fest sind und Knotenpunkte genannt werden (Möbius, Crelles Journal f. Mathem. 1830 Bd. 5, p. 113. Listing, Dioptrik im Handwörterbuch der Physiologie IV, 1851, p. 464). Es sei in Figur 6 ein Punkt π von dem vorderen Brennpunkte F um die Grösse φ entfernt, und ein Punkt π' um die Entfernung φ' von F' gelegen, — es seien ferner λ und λ' die Projectionspunkte von

Fig. 6.

L und L' auf die Axe, *daher* $\lambda L = v$ *und* $\lambda' L' = v'$, ferner sei die Entfernung $\lambda\pi = \omega$, die Entfernung $\lambda'\pi' = \omega'$, so ist, da

$$\lambda F = \lambda H - f \text{ und } \lambda' F' = \lambda' H' - f'$$

war, wenn man λH mit u und $\lambda' H'$ mit u' bezeichnet,

$$\lambda F = u - f = \omega - \varphi$$

und

$$\lambda' F' = u' - f' = \omega' - \varphi'.$$

Substituirt man diese Werthe in die Formeln 8^e), so ergiebt sich

$$\frac{\omega - \varphi}{f} = \frac{v}{v'} \text{ und } \frac{\omega' - \varphi'}{f'} = \frac{v'}{v}, \text{ woraus}$$

$$\frac{\omega}{v} = \frac{fv + \varphi v'}{v v'} \text{ und } \frac{\omega'}{v'} = \frac{f'v' + \varphi' v}{v v'} \quad . \; . \; . \qquad 9)$$

Setzt man nun weiter $\varphi = f'$ und $\varphi' = f$, so erhält man:

$$\frac{\omega}{v} = \frac{fv + f'v'}{v v'} \text{ und } \frac{\omega'}{v'} = \frac{fv + f'v'}{v v'} \qquad 9^b)$$

woraus sich ergiebt

$$\frac{\omega}{v} = \frac{\omega'}{v'} \quad . \; . \; . \qquad 9^c).$$

Es folgt daraus, *dass* $L\pi$ *parallel ist* $L'\pi'$.

Da $\varphi' = f$ gemacht worden ist, so ist $\pi' F' = HF$ und da $\varphi = f'$ gemacht wurde, so ist auch $\pi F = H'F'$.

Die Punkte π und π', die *Knotenpunkte*, haben daher folgende Beziehungen zu den Hauptpunkten und Brennpunkten: Der Punkt π, der vordere Knotenpunkt, liegt in der Axe des optischen Systems symmetrisch zum hinteren Hauptpunkte H' in Bezug auf die Brennpunkte, und der hintere Knotenpunkt symmetrisch zum vorderen Hauptpunkte H in Bezug auf die Brennpunkte — oder:

der vordere Knotenpunkt liegt vorn vom vorderen Brennpunkte eben so weit entfernt, wie der hintere Hauptpunkt vom hinteren Brennpunkte; der hintere Knotenpunkt von dem hinteren Brennpunkte eben so weit entfernt, wie der vordere Hauptpunkt von dem vorderen Brennpunkte.

Aus der Lage der Hauptpunkte lässt sich also die Lage der Knotenpunkte finden und umgekehrt. — Da wir HF als die vordere, $H'F'$ als die hintere Hauptbrennweite bezeichnet haben, so können wir auch sagen: der vordere Knotenpunkt liegt von dem vorderen Brennpunkte *um die hintere Hauptbrennweite — der hintere Knotenpunkt von dem hinteren Brennpunkte um die vordere Hauptbrennweite entfernt.*

Es folgt ferner: dass *die beiden Knotenpunkte dieselbe Distanz von einander haben, welche die beiden Hauptpunkte von einander haben.*

Da ferner $L\pi$ parallel ist $L'\pi'$, so ergiebt sich für den Weg eines Lichtstrahles, *wenn die Richtung des Strahles im ersten Mittel durch den vorderen Knotenpunkt geht, sie im letzten Mittel parallel der Richtung im ersten Mittel ist.*

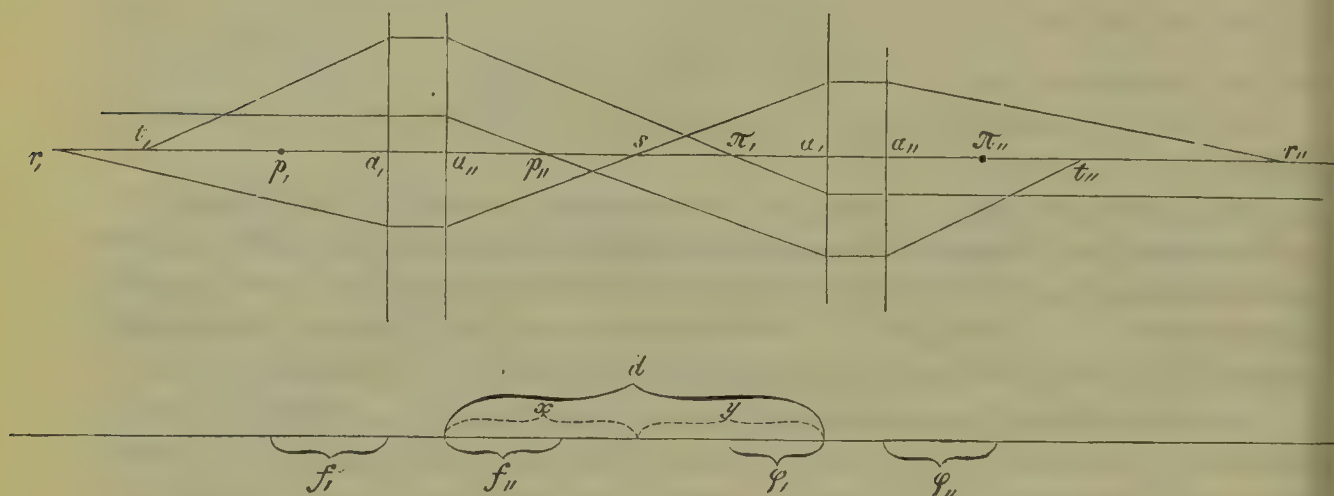
4) Wir wollen nun die Hauptbrennweiten und die Entfernungen der Hauptpunkte von den Flächen der brechenden Medien in einem combinirten Systeme aus den Brechungsexponenten, den Radien der Kugelflächen und den Distanzen der Kugelflächen von einander bestimmen, indem wir der Ableitung von Helmholtz (Physiologische Optik p. 56) folgen.

Die Brennweiten für eine einzige brechende Kugelfläche haben wir in 4[a]) und 4[b]) gefunden:
$$f_{,} = \frac{n_1 r_1}{n_2 - n_1}, \quad f_{,,} = \frac{n_2 r_1}{n_2 - n_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 10)$$
für eine zweite Kugelfläche hinter der ersten sollen sie entsprechend sein
$$\varphi_{,} = \frac{n_2 r_2}{n_3 - n_2}, \quad \varphi_{,,} = \frac{n_3 r_2}{n_3 - n_2} \quad . \quad . \quad . \quad 10^{a})$$

Aus diesen Brennweiten der Kugelflächen und der Distanz derselben leitet nun Helmholtz folgende Formeln für die Hauptbrennweiten des combinirten Systems und für die Entfernung der Hauptpunkte von den Kugelflächen folgendermassen ab:

In den beiden optischen Systemen A und B Fig. 7, welche ein und dieselbe Axe haben, seien für das System A die beiden Brennpunkte $p_{,}$ und $p_{,,}$, die beiden Hauptpunkte $a_{,}$ und $a_{,,}$, für das System B die beiden Brennpunkte $\pi_{,}$ und

Fig. 7.



$\pi_{,,}$, die beiden Hauptpunkte $\alpha_{,}$ und $\alpha_{,,}$. Der Abstand des ersten Hauptpunktes $\alpha_{,}$ des Systems B von dem zweiten Hauptpunkte $a_{,,}$ des Systems A sei $= d$ (welches positiv ist, weil $\alpha_{,}$ hinter $a_{,,}$ liegt). Die Hauptbrennweiten des ersten Systems $a_{,} p_{,}$ und $a_{,,} p_{,,}$ seien $= f_{,}$ und $f_{,,}$, die des zweiten Systems $\alpha_{,} \pi_{,}$ und $\alpha_{,,} \pi_{,,}$ seien $= \varphi_{,}$ und $\varphi_{,,}$. Der erste Brennpunkt des combinirten Systems ist offenbar das Bild, welches das System A vom ersten Brennpunkte $\pi_{,}$ des Systems B entwirft: die von ihm ausgehenden Strahlen müssen nach der Brechung im zweiten Systeme mit der Axe parallel sein: dieser Punkt sei $t_{,}$. Die Entfernung $a_{,,} \pi_{,}$ ist $= d - \varphi_{,}$; daraus ergiebt sich, da $a_{,} t_{,} : a_{,} p_{,} = a_{,,} \pi_{,} : \pi_{,} p_{,,}$, für $a_{,} t_{,}$ der Werth
$$a_{,} t_{,} = \frac{(d - \varphi_{,}) f_{,}}{d - \varphi_{,} - f_{,,}}$$
und entsprechend, wenn $t_{,,}$ der Ort des zweiten Brennpunktes des combinirten Systems ist
$$\alpha_{,,} t_{,,} = \frac{(d - f_{,,}) \varphi_{,,}}{d - \varphi_{,} - f_{,,}}.$$

Die beiden Hauptpunkte des combinirten Systems müssen, da der eine das Bild des anderen ist, ein beiden gemeinsames Bild in dem mittleren Medium zwischen den beiden optischen Systemen haben. Ist dieses Bild s in Fig. 7, und sind $r_{,}$ und $r_{,,}$ die Hauptpunkte des combinirten Systems, so ist das Bild von s gleich dem von $r_{,}$ und $r_{,,}$, und ist σ die Grösse des Objectes in s, $\beta_{,}$ die des

Bildes in $r_{,}$, $\beta_{,,}$ die des Bildes in $r_{,,}$, ferner die Länge $a_{,,}s = x$, die von $s\alpha_{,} = y$, so ist nach Relation 7)

$$\frac{\beta_{,}}{\sigma} = \frac{f''}{f_{,,} - x} \text{ und } \frac{\beta_{,,}}{\sigma} = \frac{\varphi_{,}}{\varphi_{,} - y}.$$

Da $\beta_{,} = \beta_{,,}$ sein soll, so muss

$$\frac{f''}{f_{,,} - x} = \frac{\varphi_{,}}{\varphi_{,} - y} \text{ oder } \frac{x}{f_{,,}} = \frac{y}{\varphi_{,}} \text{ sein,}$$

oder
$$\frac{a_{,,}s}{a_{,,}p_{,,}} = \frac{\alpha_{,}s}{a_{,}\pi_{,}}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad 11)$$

Um also den Punkt im mittleren Medium zu finden, dessen Bilder die beiden Hauptpunkte sind, theile man die Entfernung zwischen dem zweiten Hauptpunkte des ersten Systems und dem ersten Hauptpunkte des zweiten Systems in zwei Theile, welche sich zu einander verhalten, wie die zu diesen Hauptpunkten gehörigen Hauptbrennweiten der beiden Systeme.

Es ist nun $x = a_{,,}s$, $y = \alpha_{,}s$, und da vorhin $a_{,,}\alpha_{,} = d$ gesetzt war, so ist $x + y = d$, mithin

$$\frac{x}{f_{,,}} = \frac{d - x}{\varphi_{,}} \text{ und } \frac{y}{\varphi_{,}} = \frac{d - y}{f_{,,}}$$

daher
$$x = \frac{d f_{,,}}{\varphi_{,} + f_{,,}}, \qquad y = \frac{d\varphi_{,}}{\varphi_{,} + f_{,,}}$$

Nun verhält sich $a''s$ $(= x)$ zu $p_{,,}s$ $(= x - f_{,,})$ wie $a_{,}p_{,}$ $(= f_{,})$ zu $a_{,}r_{,}$ $(= h_{,})$, wenn $a_{,}r_{,} = h$, die Entfernung des ersten Hauptpunktes des combinirten Systems von dem ersten Hauptpunkte des ersten Systems bedeutet, woraus sich ergiebt

$$h_{,} = \frac{x f_{,}}{x - f_{,,}} \text{ und da } x = \frac{d f_{,,}}{\varphi_{,} + f_{,,}} \text{ war, so ist}$$

$$h_{,} = \frac{d \cdot f_{,}}{d - \varphi_{,} - f_{,,}}.$$

Entsprechend findet man
$$h_{,,} = \frac{d\,\varphi_{,,}}{d - \varphi_{,} - f_{,,}} \quad \ldots\ldots \quad 12)$$

Damit würden die beiden Hauptpunkte des combinirten Systems gefunden sein.

Die Hauptbrennweiten des combinirten Systems, welche wir mit $F_{,}$ und $F_{,,}$ bezeichnen, sind nun gleich der Entfernung der Hauptpunkte von den Brennpunkten.

Für den ersten Brennpunkt des combinirten Systems hatten wir

$$a_{,}t_{,} = \frac{(d - \varphi_{,})\, f_{,}}{d - \varphi_{,} - f_{,,}}$$

Ziehen wir davon den für den ersten Hauptpunkt gefundenen Werth $a_{,}r_{,}$ ab, also $F_{,} = a_{,}t_{,} - a_{,}r_{,}$, so erhalten wir

$$-F_{,} = \frac{df_{,} - \varphi_{,}f_{,} - df_{,}}{d - \varphi_{,} - f_{,,}} = \frac{-\varphi_{,}f_{,}}{d - \varphi_{,} - f_{,,}} \text{ also}$$

$$F_{,} = \frac{\varphi_{,}f_{,}}{\varphi_{,} + f_{,,} - d}$$

und für
$$F_{,,} = \frac{\varphi_{,,}f_{,,}}{\varphi_{,} + f_{,,} - d} \quad \ldots\ldots \quad 13)$$

Setzen wir nun für $f_{,}\varphi_{,}f_{,,}\varphi_{,,}$ die oben 4) und 10) erhaltenen Relationen ein, so ergiebt sich für

$$\left.\begin{aligned} F_{,} &= \frac{n_1\, r_1\, n_2\, r_2}{n_2\,(r_2\,(n_2 - n_1) + r_1\,(n_3 - n_2)) - (n_3 - n_2)\,(n_2 - n_1)\,d} \\ F_{,,} &= \frac{n_2\, r_1\, n_3\, r_2}{n_2\,(r_2\,(n_2 - n_1) + r_1\,(n_3 - n_2)) - (n_3 - n_2)\,(n_2 - n_1)\,d} \end{aligned}\right\} \quad 14$$

$$\left.\begin{aligned} h_{,} &= \frac{n_1\, r_1\,(n_2 - n_3)\,d}{n_2\,(r_2\,(n_2 - n_1) + r_1\,(n_3 - n_2)) - (n_3 - n_2)\,(n_2 - n_1)\,d} \\ h_{,,} &= \frac{n_3\, r_2\,(n_1 - n_2)\,d}{n_2\,(r_2\,(n_2 - n_1) + r_1\,(n_3 - n_2)) - (n_3 - n_2)\,(n_2 - n_1)\,d} \end{aligned}\right\} \quad 15$$

Hieraus lassen sich also die Hauptpunkte und ihre Entfernung von dem ersten Hauptpunkte der ersten brechenden Kugelfläche finden, wenn die Brechungsexponenten, Radien und die Distanzen der Kugelflächen von einander gegeben sind. Auch ergiebt sich dann zugleich die Lage der beiden Knotenpunkte, da, wie wir sahen, der Abstand des ersten Knotenpunktes vom ersten Brennpunkte gleich ist der zweiten Hauptbrennweite, und der Abstand des zweiten Knotenpunktes vom zweiten Brennpunkte gleich der ersten Hauptbrennweite, oder noch einfacher der Abstand des zweiten Knotenpunktes von dem ersten Knotenpunkte gleich ist dem Abstande der beiden Hauptpunkte von einander.

Wird $n_3 = n_1$, d. h. befindet sich eine Linse mit kugligen Begrenzungsflächen in einem gleichmässigen Medium, so wird

$$F_{,} = F_{,,} = \frac{n_1\, n_2\, r_1\, r_2}{(n_2 - n_1)\,(n_2\,(r_2 - r_1)) + (n_2 - n_1)\,d} \quad . \;\; . \;\; . \quad 14^{a)}$$

$$\left.\begin{aligned} h_{,} &= \frac{n_1\, d\, r_1}{n_2\,(r_2 - r_1) + (n_2 - n_1)\,d} \\ h_{,,} &= -\frac{n_1\, d\, r_2}{n_2\,(r_2 - r_1) + (n_2 - n_1)\,d} \end{aligned}\right\} \quad . \;\; . \;\; . \quad 15^{a}$$

Sind endlich die beiden Krümmungen einander gleich, also $+ r_2 = - r_1$ und ist $n_1 = 1$, so können wir die optischen Elemente mit r und n bezeichnen. Befindet sich also eine biconvexe Linse in Luft, so wird

$$F_{,} = F_{,,} = \frac{n\, r^2}{(n - 1)\,(2\,n\,r - (n - 1)\,d)} \quad . \;\; . \;\; . \quad 14^{b)}$$

$$h_{,} = h_{,,} = -\frac{d \cdot r}{2\,n\,r - (n - 1)\,d} \quad . \;\; . \;\; . \;\; . \;\; . \quad 15^{b}$$

Mein College, der Professor der Physik Herr L. Matthiessen hat mir folgende sehr einfache Formeln zur Berechnung der Cardinalpunkte des Auges, deren Publication demnächst in der Zeitschrift für Mathematik und Physik von Schlömilch erfolgen wird, gütigst mitgetheilt:

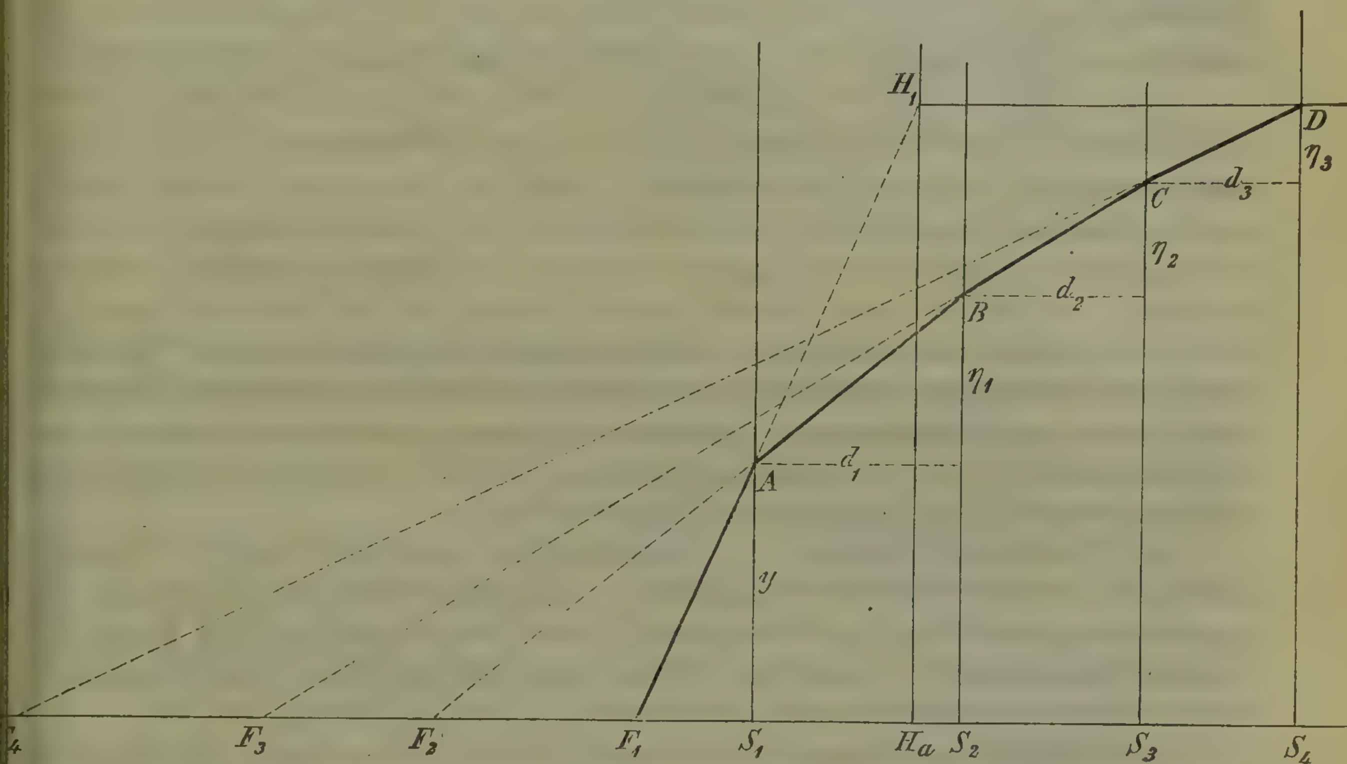
Seien $S_1\; S_2\; S_3\; \ldots S_n$ die centrirten sphärischen Begrenzungsflächen beliebig vieler Schichten von abwechselnder optischer Dichtigkeit, so lassen sich die beiden Hauptbrennweiten darstellen durch einen Ausdruck von der Form

$$f = F_1\, S_1\, \frac{F_2 S_2 \times F_3 S_3 \times F_4 S_4 \times \ldots .\; F_n S_n}{(F_2 S_2 - d_1)\,(F_3 S_3 - d_2)\,(F_4 S_4 - d_3) \times \ldots .\; (F_n S_n - d_{n-1})}.$$

Um diesen Satz zu beweisen, betrachten wir den Gang eines Lichtstrahles, welcher, vom ersten Hauptbrennpunkte F_1 ausgehend, bei A in das System eintritt, den Weg $ABCD$ beschreibt und an der Grenze des Systems parallel mit der Axe austritt. Der Durchschnittspunkt $H_{,}$ des parallel mit der Axe austretenden Strahles mit dem Focalstrahl ist ein Punkt der ersten Hauptebene.

Es seien y die Ordinate des Punktes A und $\eta_1\ \eta_2\ \eta_3$ die partiellen Elevationen des Strahles von einer brechenden Fläche zur andern, so wie $d_1\ d_2\ d_3$ die Dicken der Schichten. Ferner seien $F_1\ F_2\ F_3\ F_4$ die partiellen Brennpunkte der

Fig. 7a.



Strahlenelemente F_1A, AB, BC, CD und f die erste Hauptbrennweite $F_1\,H_\alpha$, so ergeben sich aus ähnlichen Dreiecken folgende Relationen:

(1) $y : F_2 S_1 = \eta_1 : d_1$ und $(y + \eta_1) : F_2 S_2 = \eta_1 : d_1$

(2) $(y + \eta_1) : F_3 S_2 = \eta_2 : d_2$ $(y + \eta_1 + \eta_2) : F_3 S_3 = \eta_2 : d_2$

(3) $(y + \eta_1 + \eta_2) : F_4 S_3 = \eta_3 : d_3$ $(y + \eta_1 + \eta_2 + \eta_3) : F_4 S_4 = \eta_3 : d_3$ u. s. f.

Hieraus folgt (4) $\frac{d_1}{\eta_1} = \frac{d_2}{\eta_2}\ \frac{F_2 S_2}{F_3 S_2}$, (5) $\frac{d_2}{\eta_2} = \frac{d_3}{\eta_3}\ \frac{F_3 S_3}{F_4 S_3}$ u. s. f.

Ferner ist $\frac{f}{F_1 S_1} = \frac{y + \eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{y} = \frac{d_1}{\eta_1} \cdot \frac{y + \eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{F_2 S_1}$ (nach (1)).

Substituiren wir nun successive die Gleichungen (4) (5) in die letztere, so erhalten wir

$$\frac{f}{F_1 S_1} = \frac{d_1}{\eta_1} \cdot \frac{y + \eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{F_2 S_1},$$

$$= \frac{F_2 S_2}{F_2 S_1} \cdot \frac{d_2}{\eta_2}\ \frac{y + \eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{F_3 S_2}$$

$$= \frac{F_2 S_2 \times F_3 S_3}{F_2 S_1 \times F_3 S_2} \cdot \frac{d_3}{\eta_3} \cdot \frac{y + \eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{F_4 S_3}.$$

Schliesst die Reihe mit η_3, so ist

$$\frac{f}{F_1 S_1} = \frac{F_2 S_2 \times F_3 S_3 \times F_4 S_4}{F_2 S_1 \times F_3 S_2 \times F_4 S_3} = \frac{F_2 S_2 \times F_3 S_3 \times F_4 S_4}{(F_2 S_2 - d_1) \times (F_3 S_3 - d_2) \times (F_4 S_4 - d_3)}.$$

Ist φ die zweite Hauptbrennweite, so ist analog

$$\varphi = \Phi_1\, \Sigma_1\ \frac{\Phi_2 \Sigma_2 \times \Phi_3 \Sigma_3 \times \Phi_4 \Sigma_4 \times \ldots}{(\Phi_2 \Sigma_2 - \delta_1)\ (\Phi_3 \Sigma_3 - \delta_2)\ (\Phi_4 \Sigma_4 - \delta_3) \ldots}.$$

Es sei nun M_1 das erste zwischen S_1 und S_2 gelegene Medium, M_2 das zweite u. s. f., ferner n_1 das Brechungsverhältniss von Luft in M_1, n_2 dasjenige von M_2 in M_3 u. s. f., endlich die Krümmungsradien der Flächen resp. $r_1\ r_2\ r_3$ u. s. f. alles von links nach rechts gezählt; dagegen $\nu_1\ \nu_2\ \nu_3 \ldots\ \varrho_1\ \varrho_2\ \varrho_3 \ldots\ \delta_1\ \delta_2\ \delta_3 \ldots$ von rechts nach links gezählt. So ist z. B. für drei brechende Flächen

$$\Phi_3 \Sigma_3 = \frac{n_1 r_1}{n_1 - 1}; \quad \Phi_2 \Sigma_2 = \frac{-\Phi_3 \Sigma_2 n_2 r_2}{-\Phi_3 \Sigma_2 (n_2 - 1) - r_2}, \quad \Phi_1 \Sigma_1 = \frac{-\Phi_2 \Sigma_1 n_3 r_3}{-\Phi_2 \Sigma_1 (n_3 - 1) - r_3};$$

$$F_3\ S_3 = \frac{\nu_1 \varrho_1}{\nu_1 - 1}; \quad F_2\ S_2 = \frac{-F_3 S_2 \nu_2 \varrho_2}{-F_3 S_2 (\nu_2 - 1) - \varrho_2}, \quad F_1\ S_1 = \frac{-F_2 S_1 \nu_3 \varrho_3}{-F_2 S_1 (\nu_3 - 1) - \varrho_3},$$

und $\delta_1 = d_2, \quad \delta_2 = d_1.$

$$\nu_1 = 1 : n_3, \quad \nu_2 = 1 : n_2, \quad \nu_3 = 1 : n_1 \qquad h_, = f - F_, S_,,$$

$$\varrho_1 = - r_3, \quad \varrho_2 = - r_2, \quad \varrho_3 = - r_1 \qquad h_{,,} = \varphi - \Phi_, \Sigma_,.$$

§ 3. Die Brechungsexponenten der Augenmedien. Um den Gang der Lichtstrahlen durch die Augenmedien zu ermitteln und die Brennpunkte, Hauptpunkte und Knotenpunkte derselben zu finden, müssen wir kennen 1) die Brechungsindices oder Brechungsexponenten, 2) die Radien der brechenden Flächen und endlich 3) die Distanzen der letzteren.

Die Brechungsexponenten der Augenmedien lassen sich nach der Frauenhofer'schen Methode mittelst Hohlprismen und Beobachtung der Ablenkung der dunkeln Spectrumlinien nicht bestimmen, theils wegen der geringen Menge der flüssigen Augenmedien, theils weil die Cornea und Krystalllinse nicht flüssig sind. Es sind daher andere Methoden in Anwendung gebracht worden, und zwar

1) die Methode von Chossat und Brewster, das zu untersuchende Augenmedium in die Form einer Concavlinse von bekannter Krümmung zu bringen und die Focaldistanz eines Objectes zu bestimmen, wenn der Raum der Concavlinse das eine Mal mit Luft, das andere Mal mit Wasser und das dritte Mal mit dem zu untersuchenden Augenmedium gefüllt ist. Statt der Focaldistanz bestimmten Cahours und Becquerel die Vergrösserung des Objectes und ihnen folgte W. Krause, indem er das Objectiv eines Mikroskops durch eine Convexlinse von bekannter Brennweite ersetzte, und eine ebene Glasplatte gegen die untere Krümmung der Convexlinse mittelst einer Schraubung anpresste: der zwischen der unteren Convexität der Glaslinse und der oberen Ebene des planen Glases befindliche Raum bildete also die Concavlinse, welche mit Luft, Wasser oder Augenmedien angefüllt werden konnte. Als Object benutzte Krause eine mit feiner Theilung versehene Glasplatte (Glasmikrometer), und las an einem eben solchen im Ocular befindlichen Mikrometer ab, wie viele Theilstriche des Ocularmikrometers auf einen Theilstrich des Objectivmikrometers gingen und berechnete aus den erhaltenen Grössen die Brechungsindices der verschiedenen brechenden Augenmedien. Helmholtz verfuhr in ähnlicher Weise, indem er statt einer Concavlinse, eine Planconvexlinse aus den zu untersuchenden Augenmedien bildete.

Die von Krause im Mittel von Bestimmungen an 20 menschlichen Augen gewonnenen Werthe sind, wenn man den Brechungsexponenten des Wassers = 1,3342 setzt, folgende:

Cornea	Humor aqueus	Corpus vitreum	Lentis stratum externum.	Lentis stratum medium.	Nucleus
1,3507	1,3420	1,3485	1,4053	1,4294	1,4541.

Die Maxima und Minima weichen indess sehr bedeutend von den Mitteln ab für die Hornhaut um 0,007, für die übrigen Substanzen noch bedeutender, für die Linse, bei Ausschluss eines ganz abnormen Werthes, doch noch um 0,02.

Chossat und Brewster erhielten durchgehends niedrigere Werthe. Helmholtz fand bei Bestimmung des Brechungsexponenten für Wasser = 1,3354, für den *Humor aqueus* 1,3365, für *Corpus vitreum* 1,3382, für die äussere Linsenschicht 1,4189. (Krause, Die Brechungsindices der durchsichtigen Medien des menschlichen Auges, Hannover 1855. — Helmholtz, Physiol. Optik p. 78.)

2) ist von Abbe eine Methode zur Bestimmung der Brechungsindices angegeben worden, welche für minimale Flüssigkeitsmengen eine sehr genaue Bestimmung möglich macht. Sie beruht auf einem schon von Wollaston hierzu benutzten Principe, nämlich der Messung des Winkels der totalen Reflexion zwischen Glas und der zu untersuchenden Flüssigkeit. Zwischen zwei Medien mit den Brechungsexponenten n und ν erfolgt an der Grenzfläche totale Reflexion, sobald der Einfallswinkel eines Strahles gegen die Grenzfläche im stärker brechenden Medium gleich wird dem durch die Relation $\frac{n}{\nu} = \sin \gamma$ bestimmten Winkel; ist der Brechungsexponent des einen Mittels, z. B. ν bekannt, und wird der Winkel γ, bei welchem zuerst totale Reflexion eintritt, beobachtet, so ergiebt sich daraus der gesuchte Brechungsexponent n des zweiten Mittels. Während Wollaston den Eintritt der maximalen Intensität des reflectirten Strahles bestimmte, wobei die Unsicherheit des Urtheils über das Maximum der Helligkeit Fehler bedingt, beobachtete Abbe den Eintritt der minimalen Intensität, d. h. das vollständige Verschwinden des durchgehenden Strahles, welcher sehr sicher bestimmt werden kann. Ist der Brechungsexponent des einen Mediums constant, so wird sich der Einfallswinkel, bei welchem es keinen gebrochenen Strahl mehr giebt, ändern mit dem Brechungsexponenten des zweiten Mediums.

Ist Figur 8ª TT' die Trennungsfläche der beiden Medien n und ν, von denen

Fig. 8ª.

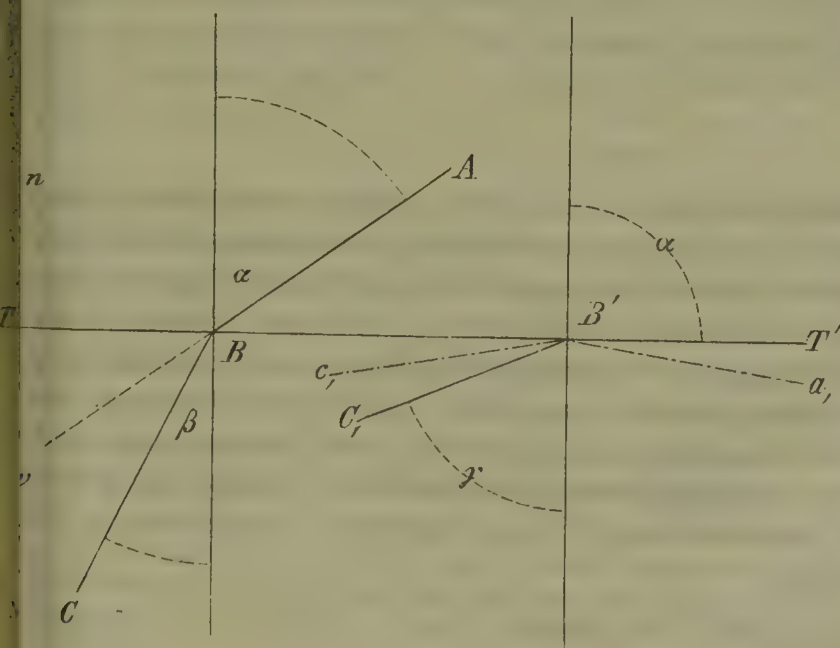
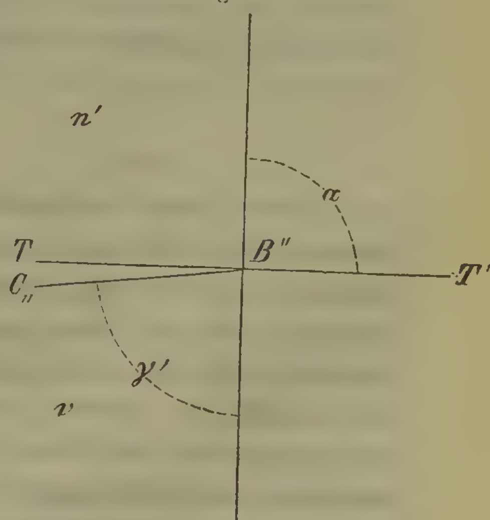


Fig. 8ᵇ.

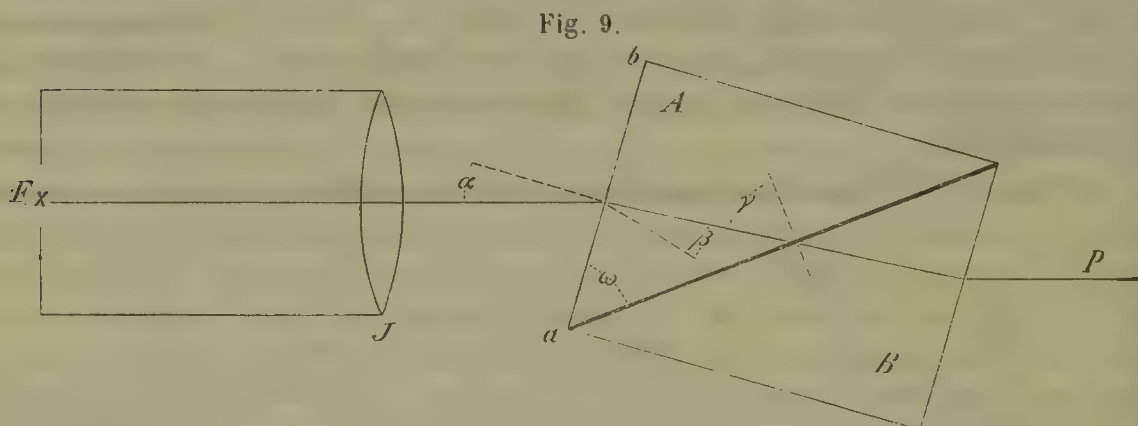


ν das stärker brechende ist, so mag ein Strahl AB nach C hin gebrochen werden; ein Strahl, welcher in der Grenzfläche TT', also unter $\alpha = 90^\circ$, einfällt, mag dann nach $C_,$ gebrochen werden: der Brechungswinkel $\gamma_,$ wird dann der Winkel sein, unter welchem der Strahl $C_,B_,$ nicht mehr in das Medium n eintritt, sondern an der Grenze desselben verläuft; wird γ noch grösser, so wird der Strahl an der Grenzfläche unter gleichem Winkel reflectirt; γ ist also für diesen Fall der Grenzwinkel. — Für ein anderes Medium n' (Figur 8[b]) werde ein Strahl $B''T'$ in der Trennungsfläche nach $C_{,,}$ gebrochen, so wird γ' der Grenzwinkel sein. Im ersten Falle Figur 8[a] ist $\frac{1}{\sin\gamma} = \frac{\nu}{n}$, im zweiten Falle Figur 8[b] ist $\frac{1}{\sin\gamma'} = \frac{\nu}{n'}$; werden $\sin\gamma$ und $\sin\gamma'$ durch Beobachtung ermittelt, so ergiebt sich daraus n und $n_,$.

Abbe benutzt nun zur Auffindung des Grenzwinkels für eine unbekannte Flüssigkeit eine dünne Schicht derselben, welche zwischen die Hypotenusenflächen zweier rechtwinkliger Prismen von Glas gebracht wird und also eine planparallele Platte darstellt, welche in allen Stellungen das einfallende Licht ohne Ablenkung austreten lässt. Die Prismen müssen einen höheren Brechungsindex haben, als die zu untersuchende Flüssigkeitsschicht. Die Prismen wirken dann als dicke planparallele Glasplatte, welche den einfallenden Lichtstrahl in völlig ungeänderter Richtung austreten lässt: der einfallende Strahl hört aber auf austreten zu können, wenn der Grenzwinkel γ erreicht ist, bezw. γ' (Figur 8[b]).

Die Beobachtungsweise ist von Abbe in folgender Weise ausgeführt: in Figur 9 ist J ein Fernrohrobjectiv, in dessen Brennpunkt F ein kurzer, zur Ebene der Zeichnung senkrechter, von hinten beleuchteter Spalt angebracht ist; A und

Fig. 9.



B sind die beiden rechtwinkligen Prismen, mit ihren Hypotenusenflächen gegen einander befestigt und um eine zur Ebene der Zeichnung senkrecht stehende Axe drehbar; die Flüssigkeitsschicht befindet sich zwischen den beiden Hypotenusenflächen. Ist die Brechung des Glases der Prismen ν und der Winkel w der Prismen bekannt, kann der Winkel α, welchen die Fernrohraxe mit der Normalen der Fläche ab bildet, gemessen werden, so wird, wenn durch Drehung des Doppelprismas im Sinne wachsenden Einfallswinkels γ der Grenzwinkel nach Massgabe des Brechungsindex der flüssigen Schicht erreicht ist, letztere (bei homogenem Lichte) vollkommen undurchsichtig. Da ν bekannt, α gemessen ist, so ergiebt sich β nach der Formel

$$\sin\beta = \frac{1}{\nu}\sin\alpha$$

der Grenzwinkel der Totalreflexion γ ergiebt sich

$$\gamma = \beta + w$$

und daraus der gesuchte Brechungsindex der Flüssigkeit n für das homogene Licht

$$n = \nu \cdot \sin\gamma.$$

Bezüglich der Abbe'schen Methode, für gewöhnliches gemischtes Licht die Beobachtungsweise brauchbar zu machen, so wie bezüglich der bei der Ausführung des Apparates zu beobachtenden Regeln und Vorsichten verweisen wir auf das Original (ABBE, Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester Körper. Jena 1874, ferner auf HIRSCHBERG, Ophthalmologische Studien, Separatabdruck aus dem Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde Bd. IV. Wiesbaden 1874).

Nach der sehr leichten und bequemen Abbe'schen Methode sind nun Untersuchungen über die flüssigen Augenmedien (für die festen ist die Methode bisher nicht angewendet) von FLEISCHER (SIGMUND FLEISCHER, Neue Bestimmungen der Brechungsexponenten der durchsichtigen flüssigen Medien des Auges. Inaug.-Diss. Jena 1872) und HIRSCHBERG (l. c. und Med. Centralblatt 1874 No. 13) gemacht worden. Nach FLEISCHER ist der Brechungsexponent des Kammerwassers von (nicht ganz frischen) menschlichen Augen im Mittel = 1,3373 (Maximum 1,3377, Minimum 1,3370), für Glaskörperflüssigkeit im Mittel 1,3367 (Maximum 1,3370, Minimum 1,3364), wenn der Brechungsexponent reinen Wassers = 1,3340 bei 15° Celsius gefunden wurde.

HIRSCHBERG fand bei ganz frischen Augen im Mittel

für das Kammerwasser 1,337 (Max. 1,3379 — Min. 1,33705)

für den Glaskörper 1,336 (Max. 1,3379 — Min. 1,33541)

Die Resultate stimmen daher sehr gut mit den Zahlen von HELMHOLTZ, sind aber erheblich geringer als die von KRAUSE.

Der Versuch, die Brechungsindices der nicht flüssigen Augenmedien nach dem Abbe'schen Verfahren zu bestimmen, hat meinem Collegen, Herrn Professor L. MATTHIESSEN und mir recht befriedigende Resultate geliefert. Wir haben bisher ausser an Thieraugen, nur an zwei Paar menschlicher Augen Bestimmungen mittelst des Abbe'schen Refractometers gemacht und folgende Zahlen für die Augen eines fünfzigjährigen Mannes und eines zweitägigen Kindes erhalten, indem der Brechungsexponent des Instrumentes für destillirtes Wasser 1,3310 ergab.

	Mann I.	Mann II.	Kind I.	Kind II.
Hornhaut	—	1,377	1,3721	—
Kammerwasser . . .	—	—	1,3383	—
Vordere Linsenkapsel .	—	—	1,3831	1,3780
Hintere - .	1,3374	1,3376	1,3503	1,3572
Aeussere Linsenschicht	1,3953	1,3967	1,3967 *)	—
Mittlere - .	1,4087	1,4067		
Kern der Linse . . .	1,4119	1,4093		
Glaskörper	—	1,3348	1,3340.	

*) Die Linse des Kindes war in ihren Schichten nicht verschieden. Wir behalten uns weitere Untersuchungen vor und werden bald genaueres über dieselben mittheilen, namentlich auch über die Zuverlässigkeit der Bestimmungen und gewisse Vorsichtsmassregeln.

3) ist nun noch eine Methode speciell für die Bestimmung des Brechungsvermögens der Krystalllinse von HELMHOLTZ (Physiol. Optik p. 79) angewendet worden.

Für die Brechung der Krystalllinse kommt der Umstand in Betracht, dass die Schichten der Linse zunehmende Brechungsexponenten von der Oberfläche nach dem Kerne zu haben. SENFF (s. VOLKMANN, Art. Sehen, Handwörterbuch der Physiologie III. 1. p. 290) hat schon experimentell und theoretisch ermittelt, dass die Krystalllinse wegen ihrer Schichtung stärker bricht, als wenn sie ganz und gar aus der Kernsubstanz, ihrer am stärksten brechenden Substanz, zusammengesetzt wäre. Leider hat SENFF nichts darüber veröffentlicht, und von seinen Untersuchungen theilt VOLKMANN (l. c.) nur folgendes mit: »Bei einer Ochsenlinse wurde der Brechungsexponent 1,539 befunden, während der Brechungscoefficient der äusseren Schicht nur 1,374 und der des Kernes 1,453 war. An demselben Auge waren alle Dimensionen, Abstände und Krümmungshalbmesser, so wie die Brechungsexponenten der durchsichtigen Medien genau bestimmt worden, und als nun mit Zugrundelegung jener brechenden Kraft der Linse (1,539) die Berechnung des Ganges der Lichtstrahlen ausgeführt wurde, so wich der Vereinigungspunkt derselben nur um 0,1''' von der Netzhaut ab, eine Grösse, welche unter den Beobachtungsfehlern liegt. SENFF ist im Stande, diese ausserordentliche Sammelkraft der Linse auch theoretisch zu erklären. Er entwickelte eine Formel, welche er auf 6 in Bezug auf ihr Brechungsvermögen untersuchte Schichten der Linse anwendete, und die Rechnung ergab eine Kraft von 1,541, was mit der empirisch gefundenen von 1,539 in überraschender Weise zusammenstimmt.« SENFF hat dieses Brechungsvermögen der Linse als totales Brechungsvermögen bezeichnet.

W. ZEHENDER (Anleitung zum Studium der Dioptrik 1856) hat die bis 1856 ermittelten Brechungsindices zusammengestellt p. 162—164, und die Rechnung für die Zunahme des totalen Brechungsindex der Linse ausgeführt unter der Annahme von nur drei Schichten, deren Brechungsindices von der Rinde nach dem Kerne hin zunehmen von 1,3767 bis 1,3999 und gefunden (p. 66), dass die geschichtete Linse eine Brennweite von 11,3948 Linien, dagegen eine Linse mit dem Brechungsindex 1,3999 eine Brennweite von 18,2297 haben würde; dass ferner für eine Linse, welche aus gleichartiger Substanz bestände, für eine Brennweite von 11,395 Linien der Brechungsindex 1,43932 betragen müsste. Vergl. auch ibid. p. 184.

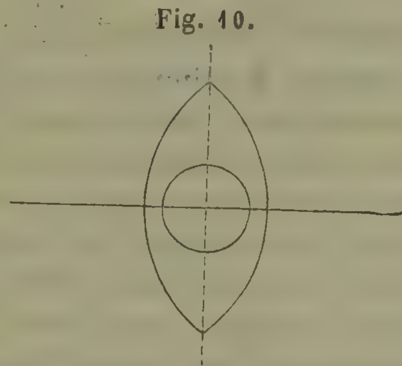
HELMHOLTZ hat die Mittheilungen von SENFF an VOLKMANN im wesentlichen bestätigt und erwiesen, dass die Brennweite der Linse kürzer ist, als wenn sie ganz und gar das Brechungsvermögen ihres Kernes hätte (l. c. p. 74), und an zwei todten menschlichen Linsen das totale Brechungsvermögen = 1,4519 und 1,4414 gefunden, während er für die äussere Schicht nur 1,4189 erhalten hat.

Die Beobachtungen wurden von HELMHOLTZ in der Weise ausgeführt, dass er die Linsen in einen hohlen Messingcylinder legte, welcher oben und unten mit einer Glasplatte bedeckt wurde und in der Mitte mit einem vorspringenden Rande versehen war. Der Cylinder wurde mit Glaskörperflüssigkeit gefüllt, die vorsichtig von ihren Verbindungen gelöste Linse auf den vorspringenden Rand des Cylinders gelagert, bis zum Rande des Cylinders Glaskörperflüssigkeit darauf gefüllt und die zweite plane Glasplatte darüber gelegt. Um mit dem horizontal

stehenden Ophthalmometer beobachten zu können, setzte HELMHOLTZ auf die obere Glasplatte ein rechtwinkliges Prisma, um das von unten kommende Licht horizontal zu reflectiren. Das Ganze wird auf den Körper eines Mikroskops gesetzt, aus dem alle Gläser entfernt sind, und als optisches Object für die Krystalllinse eine Messingplatte mit Gravesand'schen Schneiden bald auf den Objecttisch, bald dicht unter die untere Glasplatte des Kästchens gebracht. Zur Beleuchtung dient der Spiegel des Mikroskops, zur Messung der Bilder, welche die Krystalllinse von dem Spalte zwischen den Gravesand'schen Schneiden entwirft, das Ophthalmometer (s. über dasselbe § 4). Gemessen ist dann die Grösse des Objectes, die Entfernungen desselben von der Linse, die Grösse der entworfenen Bilder bei den verschiedenen Entfernungen des Objectes — bekannt sind ferner der Brechungsindex der Glaskörperflüssigkeit, die Dicke und der Brechungsexponent der Glasplatten; endlich werden noch mittelst besonderer Messungen mit dem Ophthalmometer die Krümmungsradien der vorderen und hinteren Krümmung der Linse bestimmt (s. § 8 u. § 10). Bezüglich der Berechnung verweisen wir auf HELMHOLTZ (Physiologische Optik p. 80).

L. HERMANN (Ueber schiefen Durchgang von Strahlenbündeln durch Linsen und über eine darauf bezügliche Eigenschaft der Krystalllinse) macht über den Nutzen der Linsenschichtung folgende Betrachtung 1) in Bezug auf die optische Kraft der Linse: denkt man sich die Linse als einen kugeligen Kern von hohem Brechungsindex, schalenartig umgeben von zwei concav-convexen Zerstreuungslinsen (Figur 10) von geringerem Index, so compensirt die negative optische Kraft der letzteren einen Theil der positiven Kraft des Kernes. Diese Compensation ist um so stärker, je höher der Index der Schalen, und umgekehrt, mithin die Brennweite der Linse kleiner, wenn der Index der Schalen kleiner ist als der des Kernes; 2) dass geschichtete Linsen mit kugeligem Kern für schief durch ihre Mitte gehende Strahlenbündel bedeutend bessere Bilder geben, als homogene Linsen von gleicher Brennweite, so dass der Bau der Linse das Auge für indirectes Sehen besonders befähigt. Für letzteren Satz giebt HERMANN den ausführlichen Beweis.

Fig. 10.



Wir können nun ohne Bedenken die über die Brechungsexponenten erhaltenen Werthbestimmungen nach HELMHOLTZ dahin vereinfachen, dass wir die Brechungsindices der Hornhaut, des Kammerwassers und der Glaskörperflüssigkeit einander gleichsetzen, da die Differenzen in der That geringer sind, als die individuellen Abweichungen in den einzelnen Theilen bei normalen Augen: die brechenden Medien bilden dann nur eine Masse von gleichmässigem Brechungsvermögen, in welchem die Krystalllinse mit einem höheren Brechungsvermögen eingeschaltet ist. Mit dieser Annahme wird die Bestimmung der sogenannten Cardinalpunkte des Auges in vollkommen zulässiger Weise sehr erleichtert. (s. § 11.)

Wir nehmen mit LISTING und HELMHOLTZ als Mittelzahl für Hornhaut, Kammerwasser und Glaskörper den Werth von 1,3376 für den Brechungsexponenten, und für die Krystalllinse 1,4545 an.

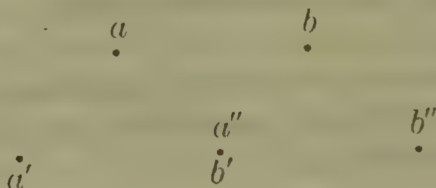
Die Krümmungen der brechenden Flächen und ihre Distanzen von einander.

§ 4. Die Krümmung der Hornhaut. Die Bestimmung der Hornhautkrümmung ist deswegen von besonderer Wichtigkeit, weil die Differenz zwischen dem Brechungsvermögen der Luft und dem Brechungsvermögen der Hornhautsubstanz die grösste beim Auge in Betracht kommende ist und weil die Hornhautkrümmung die einzige, wie wir sehen werden, constante Krümmung der Augenmedien ist.

Die beste Methode zur Messung der Hornhautkrümmung am lebenden Auge ist für die Hornhaut zuerst von Thomas Young (Philos. Transactions 1801, p. 38) und in höchst vervollkommneter Weise von Helmholtz (A. f. O. I. 2. 1855 p. 3) für Hornhaut und Linse angewendet worden, und beruht auf der Messung der Spiegelbilder von leuchtenden Objecten, welche von den Oberflächen der Hornhaut und der Linse zurückgeworfen werden. Die Grösse der Spiegelbilder nimmt zu, wenn der Radius der brechenden Krümmung grösser wird, und umgekehrt, da die Brennweite eines Convexspiegels dem halben Radius desselben gleich ist. Aus der Grösse des gespiegelten Objectes b, dessen Entfernung von der spiegelnden Fläche a und der Grösse des Spiegelbildes β ergiebt sich dann der Radius der spiegelnden Fläche $R = \frac{2a\beta}{b}$.

Da zur Bestimmung der Grösse des Spiegelbildes β zwei Ablesungen erforderlich sind, die Haltung des Kopfes aber während der zu den Ablesungen nöthigen Zeit nicht gleichmässig genug ist, so construirte Helmholtz ein nach dem Princip des Heliometers eingerichtetes Instrument, mit welchem die Bildgrösse mittelst einer einzigen Beobachtung abgelesen werden kann, das Ophthalmometer. Die Bildgrösse wird mittelst des Ophthalmometers gefunden aus dem Winkel, welchen zwei ebene Glasplatten mit einander bilden, durch die eine Verschiebung der beiden Spiegelbilder um eine bestimmte Grösse bewirkt wird. Wenn nämlich ein Lichtstrahl unter einem Winkel auf eine planparallele Glasplatte auffällt, so wird er innerhalb der Glasplatte um einen von dem Brechungsexponenten des Glases abhängigen Winkel abgelenkt, setzt aber jenseits der Glasplatte seinen Weg parallel der ursprünglichen Richtung fort. Trifft er auf diesem Wege das beobachtende Auge, so erscheint diesem der leuchtende Punkt in der letzten, nicht in der ursprünglichen Richtung zu liegen. Der leuchtende Punkt oder das Object erscheint also um eine gewisse Grösse verschoben. Wird durch eine zweite Glasplatte das Object um die gleiche Grösse, aber in entgegengesetzter Richtung verschoben, so wird man den Objecten eine solche Grösse geben können, dass die Verschiebung derselben z. B. ihrer eigenen Grösse gleich ist, also etwa die Punkte a und b so verschoben werden, dass von dem einen der Doppelbilder der Punkt a'' mit dem Punkte b' zusammenfällt, wie in Figur 11

Fig. 11.



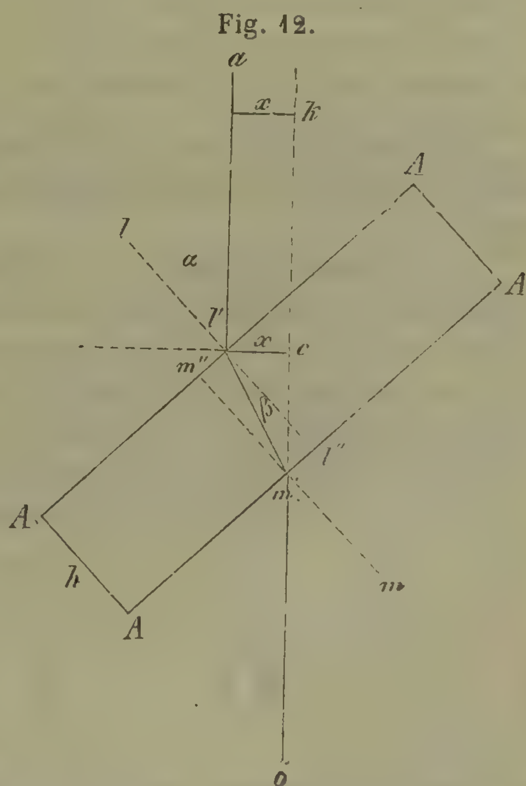
Ist ab unbekannt, die Grösse der bewirkten Verschiebung aber bekannt, so ergiebt sich aus der Verschiebung die Grösse ab, denn der Punkt a ist um die Hälfte der Distanz ab nach links, der Punkt b um die Hälfte der Distanz ab nach rechts verschoben worden.

Das Ophthalmometer ist ein Stubenfernrohr, vor dessen Objectiv zwei planparallele Glasplatten über einander in Messingfassungen so angebracht sind, dass ihre freien Ränder genau in der verlängerten Axe des Fernrohrs, welches horizontal liegt, sich berühren und die beiden Platten sich um verticale Axen durch ein Räderwerk so drehen lassen, dass wenn die eine Glasplatte nach links gedreht wird, die andere um einen gleichen Winkel sich nach rechts dreht. Die Grösse der Drehung wird an einer Kreistheilung abgelesen und damit der Winkel gefunden, welchen die beiden Platten mit einander bilden. Da die beiden Glasplatten sich in möglichster Nähe des Objectivs befinden, so erscheinen die von einem Objecte entworfenen beiden Bilder gleichzeitig in dem Gesichtsfelde des Fernrohrs neben einander. Die Einstellung der Glasplatten ist beendet, wenn die beiden Bilder in bestimmter, willkürlich festzusetzender Lage, z. B. so, wie in Figur 11 erscheinen. Aus der Winkelstellung der planparallelen Glasplatten kann man dann die Bildgrösse berechnen, wenn man den Brechungsindex und die Dicke der Glasplatten kennt.

Die seitliche Verschiebung des Bildes von einem leuchtenden Punkte berechnet Helmholtz in folgender Weise: ist in Figur 12 $AAAA$ die Glasplatte, $l'l'' = h$ die Dicke derselben, al' der einfallende, $l'm'$ der gebrochene, $m'o$ der austretende Strahl, ferner ll'' und mm'' die Einfallslothe, α der Einfalls-, β der Brechungswinkel, so wird der rückwärts verlängerte austretende Strahl $om'k$ parallel mit al', aber um die Distanz x seitlich verschoben sein und in der Linie $om'k$ der leuchtende Punkt a zu liegen scheinen. Die Grösse der scheinbaren seitlichen Verschiebung x ist aber $= l'm' \cdot \sin l'm'c$, ferner $l'm' = \frac{l'l''}{\cos\beta} = \frac{h}{\cos\beta}$, Winkel $l'm'c = \alpha - \beta$ und daraus

$$x = \frac{h \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos\beta}.$$

Fig. 12.



Winkel α ist durch die Anordnung des Versuches gegeben, β findet sich aus $\sin\alpha = n \cdot \sin\beta$, wenn n, der Brechungsexponent des Glases, bekannt ist (oder wird durch besondere Messungen an einem Maassstabe bestimmt für ein gegebenes Instrument).

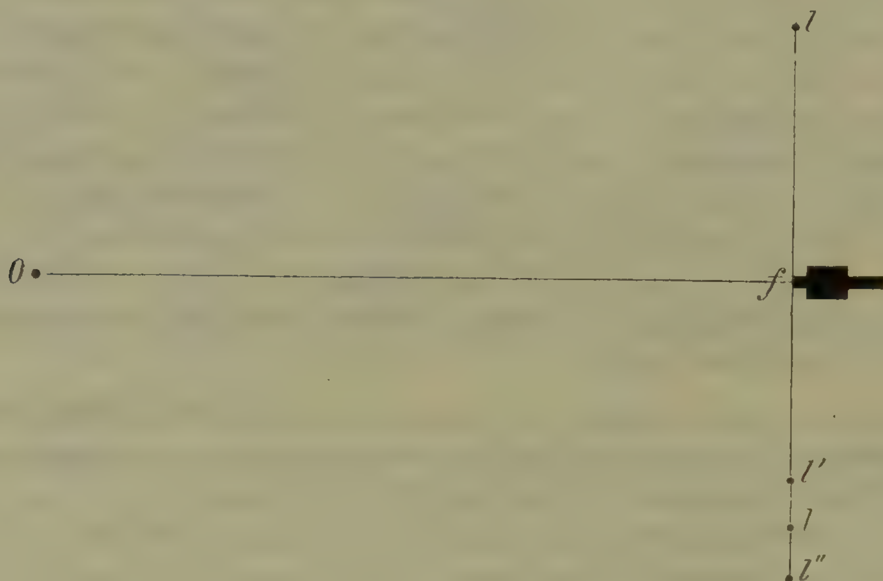
Da endlich nach der Construction des Apparates die Ablenkung durch zwei Platten in entgegengesetzter Richtung geschieht, so ist x doppelt zu nehmen für das Ophthalmometer. Hat man die Bilder zweier beobachteter Punkte, wie a und

b in Figur 11, auf einander eingestellt, so ist die Entfernung E (in Figur 11 $a'b''$) $= 2x$ oder

$$E = 2x = \frac{2h \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta.} \quad \ldots \ldots \quad \text{I}$$

Die ausführliche Beschreibung des Ophthalmometers, wie es von Meyerstein vervollkommnet ist und von ihm angefertigt wird, findet man namentlich bei Woinow (Ophthalmometrie, Wien 1871, p. 18). — Die Prüfung des Ophthalmometers ist besprochen in III, 1, p. 206 dieses Handbuches.

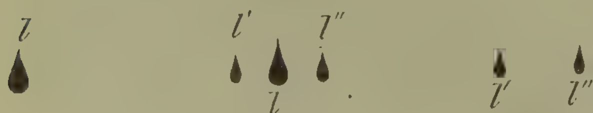
Fig. 13.



Als Beispiel für die Anwendung des Ophthalmometers möge die folgende Messung von Knapp (Die Krümmung der Hornhaut, Heidelberg 1860, p. 13) dienen:

Das zu beobachtende Auge O fixirt bei festgestelltem Kopfe ein dicht vor dem Ophthalmometer aufgestelltes Fadenkreuz f in Figur 13, so dass die Gesichtslinie mit der Axe des Ophthalmometers zusammenfällt; diese Linie ist senkrecht gegen die Linie, in welcher sich die 3 leuchtenden Punkte $l\,l'\,l''$ befinden (3 helle und schmale Gasflammen, oder 3 Spiegel (Woinow), welche das Bild einer Gasflamme reflectiren); und zwar sei l von dem Fusspunkte a entfernt 0,5 Meter, l' 0,4 M., l'' 0,6 M. und die Entfernung des Fusspunktes a von dem Auge O betrage 2,12 M. — Die Ophthalmometerplatten werden nun so gedreht, dass das Spiegelbild der Hornhaut von l genau zwischen den Hornhautreflexbildern von l' und l'' liegt, wie in Figur 13ᵇ.

Fig. 13 b.



Die Winkelverschiebung der Ophthalmometerplatten beträgt 30°58′, wie die Ablesung an der Kreistheilung des Ophthalmometers ergiebt; der Brechungsindex n der Platten ist gefunden $= 1{,}5320$, die Dicke der Platten $h = 4{,}4105$ Mm. Der Winkel α ist also $= 30°58'$, der Winkel $\beta = 19°38'$, daher

$$E = \frac{2h \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} = \frac{2 \cdot 4{,}4105 \text{ Mm. } \sin 11°20'}{\cos 19°\,38'} = 1{,}8405 \text{ Mm.}$$

Wir können nun bei der Entfernung der leuchtenden Flammen vom Auge = 2120 Mm. das Bild derselben als im Brennpunkte der convexen spiegelnden Hornhautfläche liegend betrachten; die Grösse des Objectes, welches wir b nennen, ist nach den gegebenen Entfernungen der Flammen von einander = 1000 Mm.; die Grösse des Bildes $\beta = E$ verhält sich zu b, wie ihre Entfernungen von der spiegelnden Hornhautfläche; setzen wir die Entfernung von $b = a$, für β = der Brennweite $= \frac{1}{2} R$, so findet sich

$$R = \frac{2a \cdot \beta}{b} = \frac{2 \cdot 2120 \text{ Mm.} \cdot 1{,}8405 \text{ Mm.}}{1000 \text{ Mm.}} = 7{,}8016 \text{ Mm.}$$

Damit würde also der Krümmungsradius der Hornhaut im horizontalen Meridiane des Auges für das um die Gesichtslinie herum gelegene Hornhautstück bestimmt sein, unter der Annahme, dass dasselbe eine wirkliche Kugelfläche ist. Nach der von Helmholtz eingeführten Bezeichnungsweise ist der gefundene Radius $= \varrho_0$.

Diese eine Bestimmung genügt indess nicht zur Bestimmung der gesammten Oberflächenkrümmung der Hornhaut, denn 1) sind unbestimmt gelassen die Krümmungshalbmesser in anderen Meridianen; 2) ist die Annahme, dass die Krümmung der Hornhaut im horizontalen Meridian eine Kugelfläche sei, wenn sie für das kleine Stück, dessen Bild gemessen worden ist, auch erlaubt war, nicht gültig für die ganze Hornhaut; 3) ist unbestimmt gelassen, ob eine um den Scheitelpunkt der Hornhaut, oder eine um einen anderen Punkt gelegene Fläche der Hornhaut das gemessene Bild reflectirt hat.

Es sind also weitere Bestimmungen über die Hornhautkrümmung zu gewinnen durch Messung der Bilder, welche von anderen Hornhautpunkten reflectirt werden, und die Berechnung der Hornhautkrümmung wird um so genauer sein, je grösser die Anzahl der gemessenen Stücke ist. Die Messung der Bilder von anderen Hornhautstellen ist leicht herzustellen dadurch, dass das beobachtete Auge andere Punkte, als den in der Axe des Ophthalmometers gelegenen Punkt fixirt: die Axe des Ophthalmometers und die Verbindungslinie zwischen dem Auge und dem fixirten Punkte, d. h. die Gesichtslinie schliessen dann einen Winkel von leicht zu bestimmender Grösse ein. Bezeichnen wir die Krümmungshalbmesser, die für solche Punkte gefunden werden, mit ϱ_1, ϱ_2, ϱ_3 . . . ., so müssten diese alle $= \varrho_0$ gefunden werden, wenn die Oberfläche der Hornhaut eine Kugelfläche ist. Das ist nun nicht der Fall: für den Krümmungsradius ϱ_1 in einem Abstande von 21°51′ von der Gesichtslinie medianwärts (nach der Nasenseite hin) fand Knapp $\varrho_1 = 8{,}4715$ Mm. für ϱ_2 in gleichem Abstande lateralwärts (nach der Schläfenseite hin) $\varrho_2 = 8{,}0136$ Mm. Es waren hierzu Punkte fixirt, welche in der Linie der leuchtenden Punkte l, l', l'' 0,85 M. von dem Fusspunkte a der Axe des Ophthalmometers entfernt waren, also im horizontalen Meridiane des Auges gelegen.

Es geht aus den Werthen für ϱ_0, ϱ_1, ϱ_2 hervor: 1) dass die Krümmung der Hornhaut keine Kugelfläche sein kann; 2) da ϱ_1 nicht gleich ϱ_2 gefunden wurde, dass die Gesichtslinie nicht durch den Scheitelpunkt der Hornhautkrümmung geht.

Wenn wir voraussetzen, dass die Krümmung der Hornhautmeridiane überhaupt eine regelmässige ist, so würde dieselbe eine hyperbolische, parabolische oder elliptische sein können: die letztere Annahme ist die wahrscheinlichste.

Zur Berechnung des Krümmungsradius ϱ eines beliebigen Punktes der Ellipse ist zu kennen: der Winkel zwischen dem Krümmungsradius und der grossen Axe der Ellipse $= \omega$, die grosse Axe $= 2a$, der Abstand der Brennpunkte, welcher, dividirt durch die grosse Axe, die numerische Excentricität $= \varepsilon$ giebt. (Helmholtz, A. f. O. I, 2. p. 19. Knapp, l. c. p. 17. Woinow, l. c. p. 40.) Dann ist

$$\varrho = \frac{a\,(1 - \varepsilon^2)}{\sqrt[3]{(1 - \varepsilon^2 \,.\, \sin^2\omega)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \qquad \text{II)}$$

Aus den 3 Krümmungsradien ϱ_0, ϱ_1, ϱ_2 lässt sich zunächst der Winkel ω (zwischen dem Krümmungsradius und der grossen Axe) der allgemeinen Gleichung bestimmen. Da ϱ_0 mit der Gesichtslinie und der Axe des Ophthalmometers zusammenfällt, ϱ_1 und ϱ_2 mit der Gesichtslinie zusammenfallen, aber mit der Axe des Ophthalmometers einen Winkel von 21° 51′ bilden, den wir mit φ bezeichnen, und welcher, da er für ϱ_1 auf der anderen Seite von der Gesichtslinie liegt, als für ϱ_2, daher für $\varrho_1 = + \varphi$, für $\varrho_2 = - \varphi$ ist, so werden wir, indem wir den unbekannten Winkel, welchen ϱ_0 mit der grossen Axe der Ellipse bildet, mit α bezeichnen, dann für die Winkel, welche ϱ_1 und ϱ_2 mit der grossen Axe bilden, zu setzen haben $\alpha + \varphi$ bezw. $\alpha - \varphi$. Dann lautet die Gleichung für

$$\left.\begin{aligned}
\varrho_0 &= \frac{a\,(1 - \varepsilon^2)}{\sqrt[3]{(1 - \varepsilon^2 \cdot \sin^2\alpha)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \\
\varrho_1 &= \frac{a \cdot (1 - \varepsilon^2)}{\sqrt[3]{\left(1 - \varepsilon^2 \cdot \sin^2(\alpha + \varphi)\right)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \\
\varrho_2 &= \frac{a \cdot (1 - \varepsilon^2)}{\sqrt[3]{\left(1 - \varepsilon^2 \cdot \sin^2(\alpha - \varphi)\right)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .
\end{aligned}\right\} \qquad \text{III)}$$

Aus diesen 3 Gleichungen lässt sich zunächst a eliminiren: erhebt man die beiden ersten Gleichungen auf die zweite Potenz und zieht die Kubikwurzel aus, so hat man

$$\varrho_0^{\frac{2}{3}} = \frac{a^{\frac{2}{3}}\,(1 - \varepsilon^2)^{\frac{2}{3}}}{1 - \varepsilon^2 \sin^2\alpha}$$

$$\varrho_1^{\frac{2}{3}} = \frac{a^{\frac{2}{3}}\,(1 - \varepsilon^2)^{\frac{2}{3}}}{1 - \varepsilon^2 \cdot \sin^2(\alpha + \varphi)} \text{ und daraus}$$

$$\varrho_0^{\frac{2}{3}} - \varrho_0^{\frac{2}{3}} \cdot \varepsilon^2 \cdot \sin^2\alpha = \varrho_1^{\frac{2}{3}} - \varrho_1^{\frac{2}{3}}\, \varepsilon^2 \cdot \sin^2(\alpha + \varphi), \text{ woraus}$$

$$\varrho_0^{\frac{2}{3}} - \varrho_1^{\frac{2}{3}} = \varepsilon^2 \left(\varrho_0^{\frac{2}{3}} \cdot \sin^2\alpha - \varrho_1^{\frac{2}{3}} \cdot \sin^2(\alpha + \varphi)\right) \text{ also}$$

$$\varepsilon^2 = \frac{\varrho_0^{\frac{2}{3}} - \varrho_1^{\frac{2}{3}}}{\varrho_0^{\frac{2}{3}} \cdot \sin^2\alpha - \varrho_1^{\frac{2}{3}} \cdot \sin^2(\alpha + \varphi)}$$

Auf gleiche Weise erhält man aus der ersten und dritten Gleichung III)

$$\varepsilon^2 = \frac{\varrho_0^{\frac{2}{3}} - \varrho_2^{\frac{2}{3}}}{\varrho_0^{\frac{2}{3}} \sin^2\alpha - \varrho_2^{\frac{2}{3}} \sin^2(\alpha - \varphi)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \qquad \text{IV)}$$

Aus diesen beiden Gleichungen für ε^2 lässt sich nun $\angle\alpha$ bestimmen: setzen wir die Gleichungen der rechten Seiten einander gleich, schaffen die Nenner auf die anderen Seiten, führen die Multiplication aus und setzen zur Abkürzung $(\varrho_0\, \varrho_1)^{\frac{2}{3}} = A$, $(\varrho^0\, \varrho_2)^{\frac{2}{3}} = B$ und $(\varrho_1\, \varrho_2)^{\frac{2}{3}} = C$, so erhalten wir

$$B \cdot \sin^2\alpha - A \sin^2\alpha = B \cdot \sin^2(\alpha - \varphi) + C \sin^2(\alpha + \varphi) - C \cdot \sin^2(\alpha - \varphi)$$
$$- A \sin^2(\alpha + \varphi)$$

was wir auch schreiben können

$$C\left[\sin^2(\alpha+\varphi)-\sin^2(\alpha-\varphi)\right]=B\left[\sin^2\alpha-\sin^2(\alpha-\varphi)\right]$$
$$+A\left[\sin^2(\alpha+\varphi)-\sin^2\alpha\right].$$

Da aber die Differenz der Quadrate der Sinus zweier Winkel gleich ist dem Producte aus dem Sinus der Summe der beiden Winkel in den Sinus der Differenz der beiden Winkel, also

$$\sin^2(\alpha+\varphi)-\sin^2(\alpha-\varphi)=\sin\left((\alpha+\varphi)+(\alpha-\varphi)\right)\cdot\sin\left((\alpha+\varphi)-(\alpha-\varphi)\right)$$
$$=\sin 2\alpha\cdot\sin 2\varphi$$

so wird

$$C\cdot\sin 2\alpha\cdot\sin 2\varphi=B\cdot\sin(2\alpha-\varphi)\cdot\sin\varphi+A\cdot\sin(2\alpha+\varphi)\sin\varphi$$

Da aber $\sin 2\varphi = 2\sin\varphi\cdot\cos\varphi$ ist, so können wir setzen:

$$C\sin 2\alpha\cdot 2\sin\varphi\cdot\cos\varphi=B\cdot\sin(2\alpha-\varphi)\sin\varphi+A\cdot\sin(2\alpha+\varphi)\sin\varphi$$

und wenn wir auf beiden Seiten mit $\sin\varphi$ dividiren:

$$2\,C\cdot\sin 2\alpha\cdot\cos\varphi=B\cdot\sin(2\alpha-\varphi)+A\sin(2\alpha+\varphi)$$

Da ferner $\sin(\alpha+\varphi)$ sich auflöst in $\sin\alpha\cos\varphi+\cos\alpha\sin\varphi$ und entsprechend $\sin(\alpha-\varphi)$, so bekommen wir, wenn wir ausserdem mit $\cos 2\alpha\cdot\cos\varphi$ dividiren

$$2\,C\cdot\frac{\sin 2\alpha\cdot\cos\varphi}{\cos 2\alpha\cdot\cos\varphi}=\frac{B(\sin 2\alpha\cdot\cos\varphi-\cos 2\alpha\cdot\sin\varphi)+A(\sin 2\alpha\cos\varphi+\cos 2\alpha\sin\varphi)}{\cos 2\alpha\cdot\cos\varphi}$$

oder

$$2\,C\cdot\tan 2\alpha=B\cdot\tan 2\alpha-B\tan\varphi+A\tan 2\alpha+A\tan\varphi$$
$$=(A+B)\tan 2\alpha+(A-B)\tan\varphi$$

oder:
$$\tan\varphi\,(B-A)=(A+B-2\,C)\tan 2\alpha$$

woraus $\tan 2\alpha=\dfrac{\tan\varphi\,(B-A)}{A+B-2\,C}$

und wenn wir für A, B, C ihre ursprünglichen Werthe einsetzen:

$$\tan 2\alpha=\frac{\tan\varphi\left[(\varrho_0\,\varrho_2)^{\frac{2}{3}}-(\varrho_0\,\varrho_1)^{\frac{2}{3}}\right]}{(\varrho_0\,\varrho_1)^{\frac{2}{3}}+(\varrho_0\,\varrho_2)^{\frac{2}{3}}-(\varrho_1\,\varrho_2)^{\frac{2}{3}}}\quad\ldots\ldots\quad \text{V)}$$

Da sämmtliche Werthe auf der rechten Seite der Gleichung bekannt sind, so ergiebt sich aus den angegebenen Werthen ($\varphi = 21°51'$, $\varrho_0 = 7{,}8046$, $\varrho_1 = 8{,}4715$, $\varrho_2 = 8{,}0136$) der Winkel $\alpha = 5°41'$, als Abweichung der Gesichtslinie von der grossen Axe der Hornhautellipse.

Durch Einsetzung des Werthes von α in die Gleichung IV) findet sich $\varepsilon^2 = 0{,}26148$ und endlich durch Einsetzung dieses Werthes in eine der Gleichungen III) der Werth für die halbe grosse Axe der Hornhautellipse $a = 10{,}523$ Mm.

Die halbe kleine Axe $b = a\sqrt{(1-\varepsilon^2)}$ berechnet sich $= 9{,}0431$ Mm.
die lineare Excentricität $c = a\cdot\varepsilon$. - - $= 5{,}3809$ Mm.

Bei der Bestimmung des Krümmungsradius im Scheitel der Ellipse $= \varrho$ (cf. II) haben wir den Winkel $\omega = o$, weil der Krümmungsradius mit der grossen Axe zusammenfällt, mithin

$$\varrho = a\,(1-\varepsilon^2)$$

Da $\varepsilon = \frac{c}{a}$ und $b^2 = a^2 - c^2$, so kann man auch ϱ aus der Formel

$$\varrho = \frac{b^2}{a}\quad\ldots\ldots\quad \text{VI)}$$

berechnen und findet ϱ, d. h. den Krümmungsradius im Scheitel der Ellipse

$$\varrho = 7{,}7703 \text{ Mm.}$$

Damit ist die Form der Hornhautkrümmung im horizontalen Meridiane bestimmt, zunächst für das eine individuelle Auge.

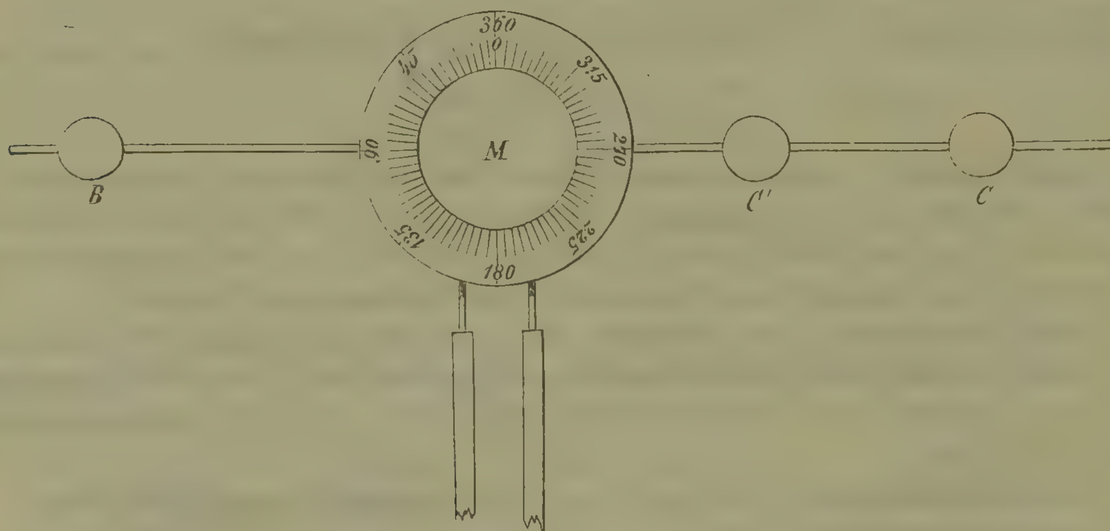
In entsprechender Weise würden andere Meridiane der Hornhaut zu messen und zu berechnen sein.

Die Krümmung des verticalen Meridians ist zuerst von Senff, dann mittelst des Ophthalmometers zuerst von Knapp (l. c. p. 22) bestimmt worden; von letzterem Forscher in der Weise, dass die Stellung des ganzen Apparates unverändert blieb, und nur der Kopf des Beobachteten eine horizontale statt der aufrechten Stellung annahm, die Verbindungslinie der beiden Augenmittelpunkte (Grundlinie) also vertical war.

Von dieser Methode Knapp's ist Donders (Die Anomalien der Refraction und Accommodation, Deutsche Ausgabe von O. Becker, Wien 1866) abgegangen, indem er die Haltung des Kopfes unverändert liess, dagegen die Linie der leuchtenden Objecte aus der Horizontalen schräg oder vertical stellte. Er bediente sich dazu des sogenannten Middelburg'schen Ringes (Middelburg de Zitplaats van het Astigmatisme, Utrecht 1863), welcher in III, 1 dieses Handbuchs p. 208 Fig. 59 abgebildet ist. Dieser Apparat wurde verbessert durch Woinow, welcher statt der Flammen am Middelburg'schen Ringe Spiegel an einer geraden Stange, welche um einen Ring gedreht und eingestellt werden konnte, anbrachte und von den Spiegeln das Bild einer Flamme reflectiren liess.

In Figur 14 ist Woinow's Spiegelapparat dargestellt: die Spiegel B, C', C entsprechen den Flammen l, l', l'' in Figur 13, das Ophthalmometer befindet sich

Fig. 14.



in der Oeffnung M der Kreistheilung, deren Mittelpunkt in der Axe des Ophthalmometers liegt; die Stange mit den Spiegeln kann in beliebigen Graden des Ringes eingestellt werden, entsprechend den zu untersuchenden Meridianen des Auges.

In der folgenden Tabelle sind die Werthe zusammengestellt, welche Senff, Helmholtz und Knapp durch Messung und Rechnung erhielten; die Buchstaben über den Columnen sind aus dem vorhergehenden verständlich.

Tabelle I. Horizontaler Meridian.

		ϱ_0	ϱ	a	b	α
Senff	I. . . .		7,794	10,435	9,019	2° 54′
Helmholtz	II. . . .		7,646	10,100	8,788	6° 43′
	III. . . .	. . . .	7,338	13,027	9,777	4° 19′
	IV. . . .	. . . .	8,154	11,711	9,772	7° 35′
Knapp	V. . . .	7,801	7,770	10,523	9,043	5° 41′
	VI. . . .	8,066	8,030	10,875	9,344	6° 5′
	VII. . . .	7,230	7,165	8,602	7,850	10° 55′
	VIII. . . .	7,218	7,205	10,134	8,545	3° 41′
	IX. . . .	7,740	7,520	12,763	9,797	7° 27′
	Mittel	7,611	7,625	10,908	9,105	6° 9′

Verticaler Meridian.

		ϱ_0	ϱ	a	b	α
Senff	Ia . . .		7,796	9,452	8,583	3° 36′
	Ib . . .		7,746	11,243	8,344	1° 36′
Knapp	V. . . .	7,906	7,854	11,495	9,501	—4° 2′
	VI. . . .	8,257	8,255	11,629	9,794	1° 4′
	VII. . . .	7,385	7,270	7,570	7,419	—14° 52′
	VIII. . . .	7,078	7,077	11,385	8,771	—1° 0′
	IX. . . .	7,712	7,611	9,301	8,813	5° 29′
	Mittel	7,668	7,659	10,297	8,746	—1° 9′

Von den Werthen in der Tabelle weichen die von anderen Beobachtern gefundenen Zahlen nicht wesentlich ab: so fanden Donders und Doyer in 15 Fällen für ϱ_0 horizontal im Mittel 7,76 für ϱ_0 vertical 7,73 Mm. — doch war bei ihnen nur 3 Mal der Radius für den horizontalen Meridian kleiner, als für den verticalen Meridian (Donders, Refractionsanomalien p. 389); Knapp fand in 16 anderen Fällen (A. f. O. VIII. 2, p. 215) den horizontalen Meridian der Hornhaut schwächer gekrümmt, als den verticalen; Reuss und Woinow (Ophthalmometrische Studien, Wien 1869, p. 55) fanden in vier Fällen im Mittel 7,5 für ϱ_0. — Dieselben fanden für Winkel α — 2°38′, + 1°19′, 2°23′, 4°6′, 4°15′, 4°54′ und 7°13′; Mandelstamm (A. f. O. XI. 2, p. 265) und Mauthner (Wiener Med. Presse 1869 Nr. 34—37) fanden ähnliche Werthe, nur zum grössten Theil, namentlich für den verticalen Meridian, erheblich kleiner.

Es geht aus diesen Messungen hervor: 1) dass sowohl der horizontale, als auch der verticale Meridian der vorderen Hornhautoberfläche elliptische Curven sind, — 2) dass die Form der Ellipse für den horizontalen Meridian stets eine andere ist, als für den verticalen Meridian, — 3) die grosse Axe der Ellipse fällt nicht zusammen mit der Gesichtslinie, vielmehr weicht die Gesichtslinie constant medianwärts von dem vorderen Pole der Hornhautaxe ab, aber bald nach oben, bald nach unten. — Ueber die Bestimmung des Winkels α s. III. 1 dieses Handbuchs p. 210. Wir wollen hier nur bemerken, dass Knapp den Winkel zwischen der Hornhautaxe und der Blicklinie (Verbindungslinie von Fixirpunkt und Drehpunkt des Augapfels) gemessen hat, welcher von Reuss und Woinow (l. c. p. 54) als Winkel α' bezeichnet wird, während der Winkel α zwischen Hornhautaxe und Gesichtslinie (Verbindungslinie zwischen

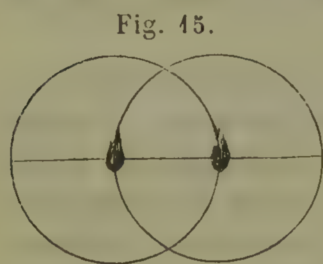
Fixirpunkt und hinterem Knotenpunkte) liegt. Die Differenz zwischen α und α' ist aber sehr gering und beträgt etwa $2\frac{2}{3}$, also für 1° etwa $1\frac{1}{2}'$.

4) Die elliptische Abweichung von der Kugel steht in keiner Beziehung zu der Winkelgrösse von Gesichtslinie und Ellipsenaxe.

5) Die grössten Differenzen zwischen den Krümmungen verschiedener Meridiane liegen keineswegs immer im verticalen und horizontalen Meridiane, sondern können in jedem anderen Meridiane liegen. Eine Reihe von Untersuchungen hierüber haben namentlich Donders, Middelburg und Hamer (Donders, Refractionsanomalien p. 393) ausgeführt im Zusammenhange mit Donders' Untersuchungen über den Astigmatismus (s. § 18).

§ 5. Hornhautbasis und Hornhauthöhe. Innere Hornhautfläche. Es ist noch erforderlich die Lage der Hornhautbasis zur Hornhautaxe, zur Gesichtslinie und zum Hornhautscheitel zu bestimmen. Nach den Messungen von Helmholtz (A. f. O. I. 2 p. 30) und Knapp (Krümmung der Hornhaut 1860 p. 30) kann man im horizontalen Meridian den Mittelpunkt der Hornhaut mit dem Scheitelpunkte derselben als zusammenfallend ansehen und findet den Durchmesser der Hornhautbasis etwa = 12 Mm. Die Bestimmung geschieht in der Weise, dass dicht an der Axe des Ophthalmometers ein leuchtender Punkt, etwa eine kleine Flamme, angebracht wird, welche auf der Hornhaut ein Spiegelbild entwirft; der zu fixirende Punkt erhält eine solche Lage, dass das Doppelbild des leuchtenden Punktes beide Hornhautränder deckt wie in Figur 15. — Aus dem Perpendikel vom fixirten Punkte auf die Richtungslinie des Ophthalmometers, und der Entfernung des Auges von dem Fusspunkte dieser Senkrechten auf die Richtungslinie ergiebt sich die Tangente des Winkels, welchen die Gesichtslinie mit dem Krümmungsradius der Hornhautmitte bildet, welchen Helmholtz und Knapp mit α_1 bezeichnen; zugleich ergiebt sich aus dem Winkel, welchen die Ophthalmometerplatten bilden, die Grösse des Durchmessers der horizontalen Hornhautbasis. Da ferner der Mittelpunkt der Hornhaut mit dem Scheitelpunkte der horizontalen Ellipse nahezu zusammenfällt, und die Ränder der Hornhaut gleich weit von demselben entfernt sind, mithin der Durchmesser der Hornhautbasis senkrecht auf der Axe der grossen Ellipse steht, so lässt sich daraus zugleich die Hornhauthöhe, d. h. die Entfernung der Basis vom Scheitel berechnen.

Fig. 15.



Die beiden Axen der Hornhautellipse sind nämlich die Axen eines rechtwinkligen Coordinatensystems auf der Mitte der Ellipse, und wenn wir mit y die Ordinate des Randpunktes der Hornhaut (gleich dem halben Durchmesser der Basis), mit x die Abscisse desselben bezeichnen, so ist aus der allgemeinen Coordinatengleichung der Ellipse

$$a^2 y^2 + b^2 x^2 = a^2 b^2$$

für unsern Fall

$$x^2 = \frac{a^2 (b^2 - y^2)}{b^2}$$

woraus

$$x = \pm \frac{a}{b} \sqrt{(b^2 - y^2)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{VII}$$

$a - x$ ist dann die Hornhauthöhe $= H$.

Wir stellen in der folgenden Tabelle II die in dieser Weise von Helmholtz und von Knapp gefundenen Werthe für die Abweichung der Gesichtslinie (Blicklinie) von der grossen Axe der horizontalen Ellipse, unter α', für die Abweichung der Gesichtslinie (Blicklinie) von dem Krümmungsradius der Hornhautmitte unter α_1, ferner die Durchmesser der Hornhautbasis und die Hornhauthöhen zusammen.

Tabelle II.

		α'	α_1	Dm. der Basis.	Hornhaut-höhe.
Helmholtz	II.	4° 19′	4° 51′	11,640	2,560
	III.	6° 43′	6° 21′	11,640	2,531
	IV.	7° 35′	7° 9′	12,092	2,511
Knapp	V.	5° 41′	5° 7′	12,120	2,712
	VI.	6° 5′	6° 12′	12,194	2,634
	VII.	[10° 55′	6° 44′]	11,717	2,811
	VIII.	3° 41′	4° 1′	11,356	2,561
	IX.	7° 27′	5° 52′	12,894	3,152
	Mittel (ohne VII)	6° 4′	5° 39′	11,957	2,684

Es wäre nun weiter die Krümmung der inneren Hornhautfläche zu bestimmen, indess ist die Kenntniss derselben bei dem jetzigen Stande der Untersuchung nicht von Wichtigkeit, weil das Brechungsvermögen der Hornhautsubstanz nur wenig von dem der wässerigen Flüssigkeit in der vorderen Augenkammer differirt (s. § 3). Mittelst eines Spiegelbildes lässt sich die Krümmung der innern Hornhautfläche nicht bestimmen, da dasselbe eben wegen der geringen Differenz des Brechungsvermögens von Hornhautsubstanz und Kammerwasser zu lichtschwach ist, um gesehen werden zu können. Helmholtz (A. f. O. I. 2, p. 26) hat die Krümmung zu finden gesucht an todten Augen, indem er an Querschnitten der Hornhaut die Dicke derselben mass. Nach diesen Messungen ist die Dicke der Hornhaut in ihren beiden mittleren Vierteln fast die gleiche und nimmt erst gegen den Rand hin stark zu. Helmholtz fand die Hornhaut in der Mitte

1,37 Mm. dick
gleichweit von Mitte und Rand 1,39 - -
am Rande 1,55 - -

Da die Randzone wegen der Abblendung der Strahlen durch die Iris kaum in Betracht kommt, so können wir sie als ziemlich gleich dick, mithin die innere Krümmungsfläche parallel der äusseren setzen — was um so weniger in Betracht kommt, wenn wir mit Helmholtz die Hornhaut und das Kammerwasser als eine Masse von gleichem Brechungsvermögen ansehen.

Da sich ferner der Brechungsindex der wässerigen Feuchtigkeit von dem des Glaskörpers fast gar nicht unterscheidet (s. § 3), so können wir unsere Vorstellung von den brechenden Augenmedien noch dahin vereinfachen, dass wir, bei Ausschluss der Krystalllinse, die sämmtlichen brechenden Medien des Augapfels als homogen ansehen, und ihren Brechungsindex = 1,3376 setzen.

§ 6. Brennweiten des Hornhautsystems. Wir sind nun im Stande, die Brennweiten des Hornhautsystems zu berechnen. Wir machen zur weiteren

Vereinfachung noch die Annahme, dass die Hornhaut in ihrem mittleren Theile kuglig gekrümmt sei, und setzen ihren Krümmungshalbmesser (zunächst für den horizontalen Meridian) $= \varrho$ (s. Tabelle I in § 4).

Wir haben dann für Strahlen, welche parallel zur Axe die Hornhaut treffen, die Vereinigungsweite derselben vor der Hornhaut in der Luft, d. h. die vordere Brennweite nach 4[a]) $= F_{,} = \frac{n_1 r}{n_2 - n_1}$, also für unsern Fall $F_{,} = \frac{\varrho}{n-1}$; und entsprechend für die Vereinigung von in der Luft parallelen Strahlen hinter dem Hornhautscheitel oder die hintere Brennweite des Hornhautsystems

$$F_{,,} = \frac{n \cdot \varrho}{n - 1}.$$

Daraus berechnen sich für die von Helmholtz und Knapp untersuchten Augen, wenn $n = 1{,}3376$ gesetzt wird, folgende Brennweiten für die horizontalen und verticalen Meridiane

Tabelle III.

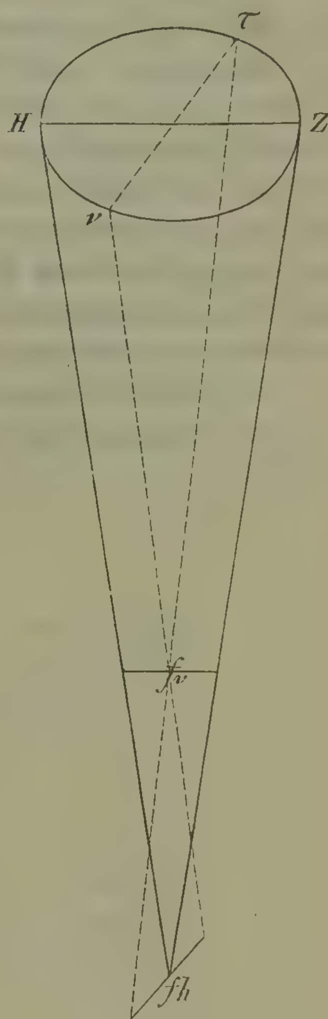
		Vordere Brennweite $F_{,}$.			Hintere Brennweite $F_{,,}$.		
		H. M.	V. M.	Dffz.	H. M.	V. M.	Dffz.
Helmholtz	II.	22,632			30,278		
	III.	21,720			29,058		
	IV.	24,136			32,290		
Knapp	V.	22,999	23,248	0,249	30,769	31,102	0,333
	VI.	23,768	24,435	0,667	31,800	32,690	0,890
	VII.	21,208	21,519	0,311	28,373	28,789	0,416
	VIII.	21,327	20,948	— 0,379	28,531	28,024	— 0,507
	IX.	22,259	22,528	— 0,269	29,779	30,139	— 0,360
	Mittel	22,506	22,535		30,190	30,144	

Aehnliche Zahlen hat Donders für die hintere Brennweite $F_{,,}$ nach seinen und Doyer's Messungen berechnet und namentlich bei fast allen Augen Differenzen für den horizontalen und verticalen Meridian gefunden. (Refractionsanomalien p. 388.)

Für ein Auge ohne Krystalllinse (für ein aphakisches Auge) würde also der hintere Brennpunkt etwa 28 Mm. bis 32 Mm. hinter dem Hornhautscheitel gelegen sein, mithin, da die Entfernung der Netzhaut von dem Hornhautscheitel im normalen (emmetropischen) Auge etwa = 24 Mm. ist (vgl. I. 1 dieses Handbuches p. 44) 4 bis 8 Mm. hinter der Netzhaut liegen. Wenn nun, wie wir weiter sehen werden, durch die Krystalllinse die Brennweite der Augenmedien vermindert wird, so wird doch, wenn dieselbe mit regelmässigen Kugelflächen versehen ist, eine Vereinigung der Lichtstrahlen, wie sie für das deutliche Sehen erforderlich ist, in einem Punkte nicht erfolgen können, weil die Brennweite des Hornhautsystems im horizontalen Meridiane eine andere ist, als im verticalen Meridiane. Ist in Figur 16 *HZ* der horizontale Meridian und f_h der Brennpunkt für denselben, $v\tau$ der verticale Meridian und f_v sein Brennpunkt, so wird ein homocentrisches Strahlenbündel sich theils in f_h, theils in f_v vereinigen und für andere Meridiane, welche mehr als der horizontale und weniger als der verticale Meridian gekrümmt sind, der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen zwischen f_h und f_v liegen müssen.

Es giebt dann also keinen gemeinsamen, einfachen Brennpunkt, sondern eine Brennlinie (Brennstrecke, interval focal STURM), welche z. B. für das Auge VI der Tabelle III. 0,890 Mm. betragen würde. Allgemein muss, je grösser die Differenzen in den Krümmungshalbmessern verschiedener Meridiane sind, um so länger die Brennstrecke f_h f_v sein, unabhängig von dem Winkel, welchen der am stärksten und der am schwächsten gekrümmte Meridian mit einander bilden.

Fig. 16.



Auf die Folgen dieser Differenzen für das Sehen werden wir in § 18 zurückkommen. (vgl. DONDERS, Refractionsanomalien Cap. VIII, Astigmatismus.)

§ 7. **Entfernung des Linsenscheitels vom Hornhautscheitel.** Es ist nun weiter für die Krystalllinse zu bestimmen der Krümmungsradius der vorderen und hinteren Fläche, so wie der Ort des Scheitelpunktes dieser Flächen in Bezug auf den Hornhautscheitel.

Der Ort des Scheitelpunktes der vorderen Linsenfläche in Bezug auf den Hornhautscheitel ist gegeben, wenn wir 1) die Distanz des vorderen Linsenscheitels von dem Hornhautscheitel, 2) die Lage des Linsenscheitels in Bezug auf die Hornhautaxe oder die Gesichtslinie kennen. Die letztere Bestimmung ist gleichbedeutend mit der Entscheidung der Frage, ob das Auge genau centrirt sei.

Die Untersuchungen von HELMHOLTZ (A. f. O. I. 2 p. 36 und Phys. Optik p. 86) und KNAPP (A. f. O. VI. 2 p. 1) haben ergeben, dass die Hornhautaxe nicht durch den Scheitelpunkt der vorderen Linsenfläche geht, sondern etwa 2° medianwärts von dem Scheitel der Linsenfläche verläuft, mitunter aber auch weniger.

Für den horizontalen Meridian des Auges haben die Beobachtungen der genannten Forscher ergeben, dass wenn von dem beobachteten Auge ein Punkt fixirt wurde und das Licht unter einem bestimmten Winkel mit der Gesichtslinie von der Schläfenseite her (lateralwärts) einfiel in der Art, dass die Reflexbilder der vorderen Linsenfläche genau in der Mitte zwischen den Reflexbildern der Hornhaut und der hinteren Linsenfläche erschienen, dies nicht mehr der Fall war, wenn Licht und Beobachter ihre Stellen wechselten, sondern dann der Gesichtslinie eine andere Richtung durch Verstellung des Fixirzeichens gegeben werden musste. HELMHOLTZ und KNAPP erhielten folgende Werthe

	HELMHOLTZ *)			KNAPP			
Licht kommt	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
medianwärts:	4° 57′	8° 12′	7° 44′	6° 48′	6° 22′	7° 56′	5° 39′
lateralwärts:	3° 47′	5° 6′	5° 43′	4° 50′	3° 40′	4° 36′	6° 4′

*) Nach den Bemerkungen von KNAPP, A. f. O. VI. 2 p. 7 sind die von HELMHOLTZ a. a. O. gegebenen Werthe umzukehren, was in der vorliegenden Tabelle geschehen ist.

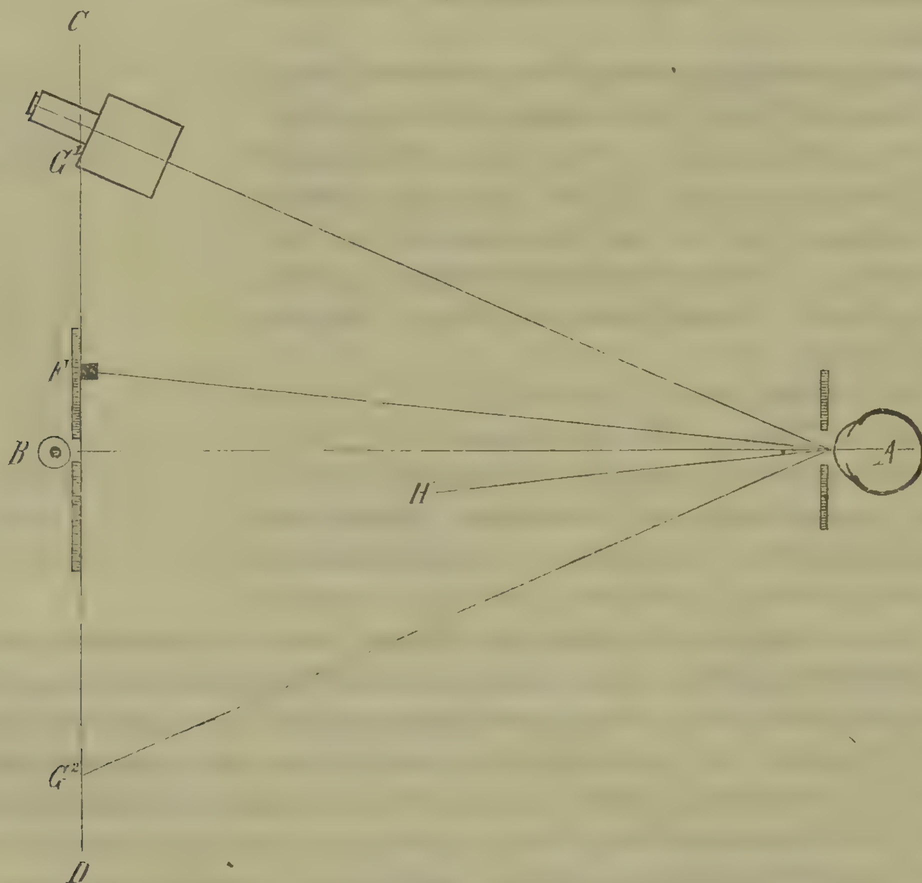
Die Werthe sind immerhin so wenig different, dass man für die meisten Verhältnisse beim Sehen die Differenz unbeachtet lassen und das Auge als centrirt ansehen kann. Wir werden in § 18 indess noch darauf zurückkommen.

Es ist zweitens der Abstand des Linsenscheitels von dem Hornhautscheitel in der Augenaxe zu bestimmen.

Helmholtz (A. f. O. I. 2 p. 31) hat diese Bestimmung in der Weise vorgenommen, dass er zunächst die Entfernung der Pupillarebene von dem Hornhautscheitel zu ermitteln suchte. Unter der Annahme, dass der Pupillarrand der Iris dicht an der Linse anliegt, beobachtete er die scheinbare Lage des Reflexbildchens von der Hornhaut in Bezug auf den Mittelpunkt der Pupillarfläche und berechnete aus den gefundenen Winkelgrössen, so wie aus dem vorher bestimmten Radius der Hornhautkrümmung die Distanz vom Hornhautscheitel und von der Hornhautaxe oder der Gesichtslinie.

Die Beobachtungen werden in der Weise ausgeführt, dass das Reflexbild einer Lichtflamme von der Hornhaut mittelst des Ophthalmometers erst von der

Fig. 17.



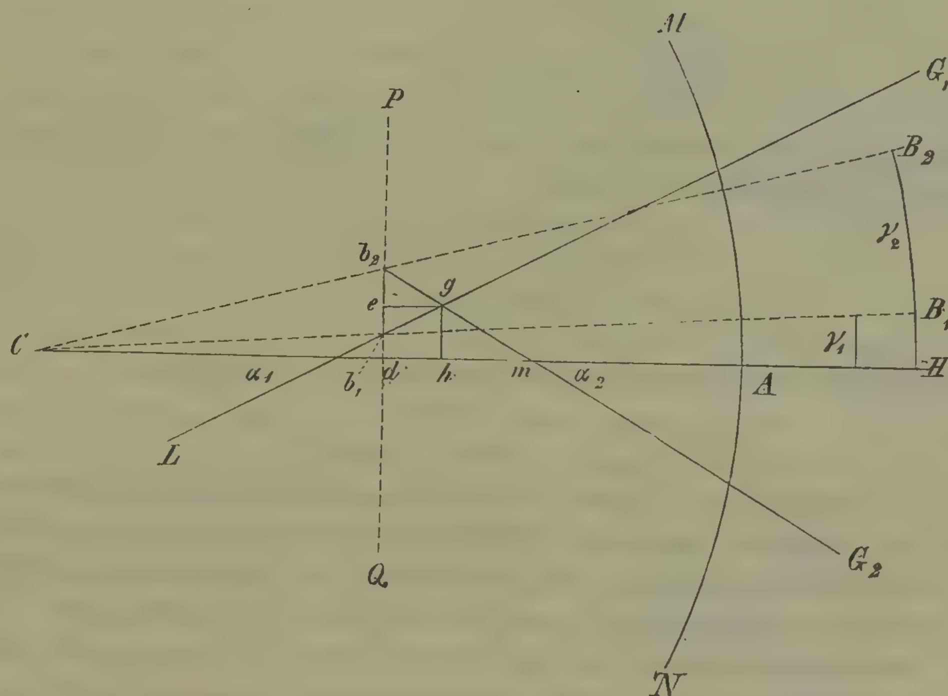
Nasenseite her beobachtet wird, und dabei das beobachtete Auge einen Punkt fixirt, welchem eine solche Lage gegeben wird, dass das Reflexbild genau in der Mitte der Pupille zu liegen scheint. Dann wird das Ophthalmometer auf die Schläfenseite gestellt und ebenso verfahren. Daraus ergeben sich die Winkel, welche die Verbindungslinie des Auges und der Flamme mit der Gesichtslinie (bezw. der Hornhautaxe) bilden, und die Winkel, welche die Beobachtungslinie des Ophthalmometers mit der Gesichtslinie bildet. Da die Reflexbilder scheinbar in einer Entfernung hinter der Hornhaut liegen, welche gleich dem halben Krüm-

mungsradius derselben ist, so ist nur die Entfernung der Hornhautbildchen von der Iris zu bestimmen.

Im Speciellen ist die Anordnung des Versuches folgende: das beobachtete Auge A Figur 17 fixirt den Punkt F, welcher an einer Skala verschiebbar ist; die Flamme befindet sich in B; das Ophthalmometer wird das eine Mal in G^1, das andere Mal in G^2 aufgestellt und seine planparallelen Glasplatten so gedreht, dass bei einer bestimmten Lage von F die Doppelbilder der Lichtflamme auf zwei diametral gegenüberliegende Punkte des Pupillarrandes der Iris fallen. Bei dieser Stellung des beobachteten Auges steht dann das Hornhautbildchen perspectivisch hinter dem Mittelpunkte der Pupille. Substituirt man statt der Gesichtslinie die Hornhautaxe, und denkt statt ihrer den Lichtpunkt verschiebbar, so ergiebt sich folgende Construction (nach KNAPP) für die Lage des beiden Beobachtungen gemeinschaftlichen Durchschnittspunktes.

Es sei MAN Figur 18 ein horizontaler Durchschnitt der Hornhaut, C ihr Krümmungsmittelpunkt, CH die Hornhautaxe, CA der Hornhautradius $= R$ und PQ die Brennebene des Convexspiegels der Hornhautoberfläche, welche durch

Fig. 18.



die Mitte des Hornhautradius, durch d gelegt sei, so dass $dC = dA = \frac{1}{2}R$. Für die erste Beobachtung sei B_1C die Verbindungslinie der Flamme B_1, welche die Brennebene PQ in b_1 schneidet und mit der Hornhautaxe den Winkel γ_1 bildet; ferner sei G_1b_1 die Verbindungslinie des Ophthalmometers G_1 mit dem Orte des virtuellen Bildes b_1, welches die Flamme B_1 entwirft, und der Winkel, welchen die Fortsetzung der Linie G_1b_1 nach L hin mit der Hornhautaxe bildet $= \alpha_1$. — Für die zweite Beobachtung seien entsprechend die Zeichen mit dem Exponenten 2, also B_2b_2, G_2b_2, α_2, γ_2 ... Sowohl die Richtungslinie G_1b_1, wie die Richtungslinie G_2b_2 geht durch den Mittelpunkt der Pupille; da derselbe beiden Richtungslinien gemeinschaftlich ist, so muss er ihr Durchschnittspunkt sein, mithin in g liegen. Die Lage von g ist also zu berechnen sowohl in Bezug auf seinen

Abstand von der Hornhautaxe $hg = y$, als in Bezug auf seinen Abstand von dem Hornhautscheitel $hA = x$. — Setzen wir zur Abkürzung $b_1 d = \beta_1$ und $b_2 d = \beta_2$, so sind, da wir $dA = \frac{1}{2} R$ angenommen haben

$$\beta_1 = \tfrac{1}{2} R \text{ tang } \gamma_1 \text{ und } \beta_2 = \tfrac{1}{2} R \cdot \text{tang } \gamma_2.$$

Ziehen wir die Hülfslinie ge parallel der Hornhautaxe CA, so ist $b_2 e = b_2 g \cdot \sin \alpha_2$ und da $b_2 e = \beta_2 - y$, so ist

$$\beta_2 - y = b_2 g \cdot \sin \alpha_2;$$

ferner ist $\angle\, b_2 b_1 g = 90^\circ - \alpha_1$ und $b_2 g b_1 = \alpha_1 + \alpha_2$, daher verhält sich

$$b_2 g : (\beta_2 - \beta_1) = \sin (90^\circ - \alpha_1) : \sin (\alpha_1 + \alpha_2), \text{ woraus}$$

$$b_2 g = \frac{\cos \alpha_1 (\beta_2 - \beta_1)}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

Daraus ergiebt sich

$$\beta_2 - y = \frac{\cos \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2}{\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 + \cos \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2} (\beta_2 - \beta_1) \text{ und}$$

$$y = \beta_2 - \frac{\cos \alpha_1 \sin \alpha_2 (\beta_2 - \beta_1)}{\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 + \cos \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2}.$$

Durch Division von Zähler und Nenner mit $\cos \alpha_1 \sin \alpha_2$ erhält man

$$y = \beta_2 - \frac{(\beta_2 - \beta_1)}{\frac{\text{tang } \alpha_1}{\text{tang } \alpha_2} + 1}$$

oder $$y = \frac{\beta_2 \text{ tang } \alpha_1 + \beta_1 \text{ tang } \alpha_2}{\text{tang } \alpha_1 + \text{tang } \alpha_2} \quad \ldots\ldots \quad \text{VIII)}$$

Ferner findet man den Werth für $x = hA = \frac{1}{2} R - dh$; dh ist aber $= eg = b_2 g \cdot \cos \alpha_2$; oben hatten wir aber

$$b_2 g = \frac{\cos \alpha_1 (\beta_2 - \beta_1)}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

woraus $$dh = \frac{\cos \alpha_1 \cos \alpha_2 (\beta_2 - \beta_1)}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

Dividirt man Zähler und Nenner mit $\cos \alpha_1 \cos \alpha_2$, so erhält man

$$x = \tfrac{1}{2} R - \frac{(\beta_2 - \beta_1)}{\text{tang } \alpha_1 + \text{tang } \alpha_2} \quad \ldots\ldots \quad \text{IX)}$$

Durch die Coordinaten y und x ist die Lage des Punktes g bestimmt. Der Punkt g ist aber nicht der wirkliche Mittelpunkt der Pupille, denn die Iris selbst erscheint dem Beobachter wegen der Brechung der Lichtstrahlen in dem Hornhautsystem etwas vergrössert und nach der Hornhaut hin verschoben. Das Bild der Iris in seiner scheinbaren Lage und Grösse nennt Helmholtz die scheinbare Iris. Da wir die vordere und hintere Brennweite der Hornhaut $F_{,}$ und $F_{,,}$ kennen (cf. § 6), so können wir daraus den Mittelpunkt der wirklichen Pupille oder die wirklichen Ordinaten ξ und η berechnen. Aus Formel 5) in § 2 für die conjugirten Brennpunkte erhalten wir

$$\frac{F_{,}}{x} + \frac{F_{,,}}{\xi} = 1$$

und $$\xi = \frac{x F_{,,}}{x - F_{,}}$$

und da ξ als virtueller Vereinigungspunkt negativ zu setzen ist

$$\xi = \frac{x F_{,,}}{x + F_{,}} \quad \ldots\ldots \quad \text{X)}$$

In gleicher Weise haben wir, wenn y die Grösse des Bildes im ersten, η im zweiten Medium ist

$$\frac{\eta}{y} = \frac{F_{,}}{F_{,} - x} = \frac{F_{,,} - \xi}{F_{,,}}, \text{ woraus; wegen } x \text{ negativ}$$

$$\eta_{,} = \frac{y\,F_{,}}{x + F_{,}} = y\,\frac{(F_{,,} - \xi)}{F_{,,}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \qquad \text{XI)}$$

Dadurch werden die wirklichen Entfernungen des Hornhautscheitels von dem Mittelpunkte der Pupille $= \xi$ und die wirkliche Entfernung des Mittelpunktes der Pupille von der Hornhautaxe $= \eta$ bestimmt.

Bevor wir die nach dieser ophthalmometrischen Methode erhaltenen Werthe anführen, müssen wir noch zwei andere Methoden zur Bestimmung der Tiefe der vorderen Kammer angeben.

Die eine Methode von Donders, auf dem Londoner ophthalmologischen Congress 1872 mitgetheilt (Zehender, Monatsblätter für Augenheilkunde 1872 p. 300), besteht darin, dass man ein Cornealmikroskop zuerst auf die mit einigen Körnchen Calomel bestreute Hornhautoberfläche einstellt, dann auf den Pupillarrand der Iris: die Differenz der beiden Einstellungen wird genau gemessen und ergiebt direct die scheinbare Tiefe der Kammer, also x, woraus dann ξ nach den obigen Formeln berechnet werden kann. (Vergl. III. 1. p. 167 dieses Handbuchs.)

Die andere Methode von Mandelstamm und Schöler (A. f. O. XVIII. 1. p. 155) und später von Reich (A. f. O. XX. 1. p. 207) angewendet, gleichfalls von Helmholtz ersonnen, beruht auf folgendem Princip: es wird durch eine planparallele Glasplatte das Bild einer entfernten Flamme mittelst einer Sammellinse so in das beobachtete Auge geworfen, dass dem durch das Cornealmikroskop (Mikrooptometer, Reich) sehenden Beobachter das von der Hornhaut reflectirte Flammenbild und Pupillarrand sehr klar und scharf erscheinen: darauf wird, nachdem das beobachtete Auge entfernt ist, bestimmt, in welcher Entfernung vom Objective des Mikroskops ein Object sich befinden muss, um scharf gesehen zu werden: es ergiebt sich daraus der Ort, an welchem das Reflexbild der Cornea sich befunden haben muss. Mandelstamm, Schöler und Reich geben dieser mikrooptometrischen Methode den Vorzug vor der ophthalmometrischen in Bezug auf die Bestimmung der Kammertiefe. Das Genauere über das Instrument und die Berechnung s. a. a. O.

Für den wahren Abstand der Pupillarebene vom Hornhautscheitel haben sich nun folgende Werthe ξ ergeben (in Mm.)

Helmholtz: II = 4,024, III = 3,597, IV = 3,739,
Knapp: V = 3,692, VI = 3,707, VII = 3,477, VIII = 3,579,
Adamück-Woinow: X = 3,998, XI = 3,237, XII = 2,900, XIII = 3,633,
Mandelstamm und Schöler XIV = 3,921, XV = 3,651 (mit Mikrooptometer).
Reich fand ophthalmometrisch: mikrooptometrisch:

	ophthalmometrisch	mikrooptometrisch
XVI	= 3,669	3,639
XVII	= 3,636	3,708.

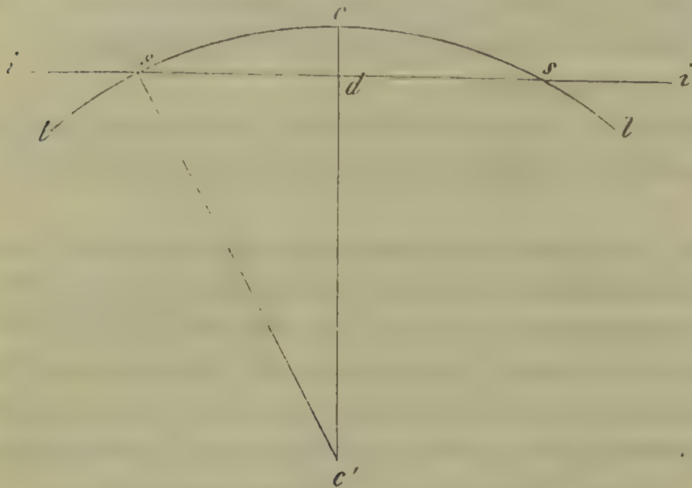
Für den Abstand des Mittelpunktes der Pupille von der Hornhautaxe $= \eta$ sind die gefundenen Werthe sehr verschieden und schwanken von 0,032 bis 0,398 Mm., im Mittel von 11 Bestimmungen (Helmholtz, Knapp, Adamück und Woinow) ergiebt sich $\eta = 0,229$ Mm.

Ich bemerke, dass die angegebenen Zahlen sich nur auf das in Ruhe befindliche, d. h. nicht, oder für die Ferne accommodirte Auge beziehen.

Da es nun hier darauf ankommt, die Entfernung des vorderen Scheitels der Krystalllinse von dem Hornhautscheitel zu bestimmen, so wird von dem Werthe ξ

noch in Abzug zu bringen sein die Grösse, um welche der Scheitel der Krystalllinse die Pupillarebene in die Kammer hinein überragt. Diese Grösse ist sehr gering, lässt sich aber aus der Linsenkrümmung (s. § 8) und dem Durchmesser der Pupille berechnen unter der Annahme, dass der Pupillarrand der Linse dicht anliegt. Ist in Figur 19 *ii* die Iris, *ll* die Krümmung der Linse, *ss* die Pupille, $sc' = cc'$ der Radius der Linsenkrümmung $= r$, so wird $cd = z$ das Stück sein, um welches die Linse den Pupillarrand überragt. Wir haben dann, wenn wir sd, die halbe Pupillenweite mit p bezeichnen

Fig. 19.



$$c'd^2 + sd^2 = sc'^2 \text{ oder } (r - z)^2 + p^2 = r^2$$

woraus $r - z = \sqrt{(r^2 - p^2)}$

und $z = r - \sqrt{(r^2 - p^2)}$ . . . . . . XII)

Da die Pupillenweite sehr variirt (cf. § 16), so ist die Bestimmung von z mit dieser veränderlich. Die scheinbare Grösse der Pupille findet man direct mittelst des Ophthalmometers, die wirkliche Grösse ergiebt sich auch hier nach Formel 5), indem, wenn wir mit p die scheinbare, mit π die wirkliche Grösse derselben bezeichnen, mit x die scheinbare Entfernung der Pupillarebene von dem Hornhautscheitel und mit $F_,$ und $F_{,,}$ die Brennweiten der Hornhaut

$$\pi = \frac{p \cdot F_,}{x + F_,} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{XIII)}$$

π variirt von 2,4 Mm. bis 5,8 Mm.

Da der Werth von z etwa $=$ 0,15 bis 0,266 Mm. (Helmholtz) beträgt, so kann man im Mittel 0,2 Mm. dafür setzen und ihn meistens vernachlässigen.

Mit Berücksichtigung von $z = 0{,}2$ Mm. würde sich dann im Mittel aus obigen 15 Beobachtungen von ξ für den Abstand des Linsenscheitels von dem Hornhautscheitel ergeben 3,430 Mm.

§ 8. Krümmung der vorderen Linsenfläche. Die Krümmungsflächen der Krystalllinse sind vor Helmholtz nur an den herausgenommenen Linsen todter Augen gemessen worden. Messungen an Krystalllinsen, welche aus dem Auge herausgenommen sind, können, wie Knapp bemerkt, keinen Anspruch auf grosse Genauigkeit machen, auch wenn die Herausnahme möglichst vorsichtig geschieht, da ja die Linse von allen ihren Verbindungen gelöst werden muss. Indess haben doch sowohl Helmholtz als Knapp an je zwei herausgenommenen Linsen Messungen der Krümmungsflächen nach der in § 3 besprochenen Methode von Helmholtz gemacht (s. Helmholtz, Physiol. Optik p. 80. Helmholtz hat an der einen Linse den Radius der vorderen Krümmungsfläche $=$ 10,462 Mm., an der zweiten $=$ 8,865 gefunden (cf. A. f. O. I. 2. p. 49); Knapp (A. f. O. VI. 2. p. 5) für die Linse *A* den Krümmungsradius im Scheitel der Vorderfläche

= 9,315 Mm., in der Mitte zwischen Rand und Scheitel = 8,979 und 8,968 Mm. auf der andern Seite. Für die Linse *B* entsprechend 8,218 Mm., 9,541 Mm. und 9,550 Mm.: bei *A* war also der Scheitel weniger gekrümmt, als die seitliche Zone, bei *B* umgekehrt. — Da für die Linse noch mehr wie für die Hornhaut die Randstrahlen abgeblendet werden, so ist die Annahme erlaubt, dass der in Betracht kommende Theil der vorderen Linsenfläche sphärisch gekrümmt ist. Dasselbe gilt für die hintere Linsenfläche, für welche Helmholtz den Krümmungsradius = 5,860 und 5,889, Knapp im Scheitel 5,509 (*A*) und 5,173 (*B*), — zwischen Rand und Scheitel auf der einen Seite 5,903 (*A*) und 5,160 (*B*) auf der andern Seite 5,261 bezw. 5,236 Mm. fand. — Ich will gleich bemerken, dass die angegebenen Zahlen wenig differiren von den an lebenden Augen gemachten Bestimmungen.

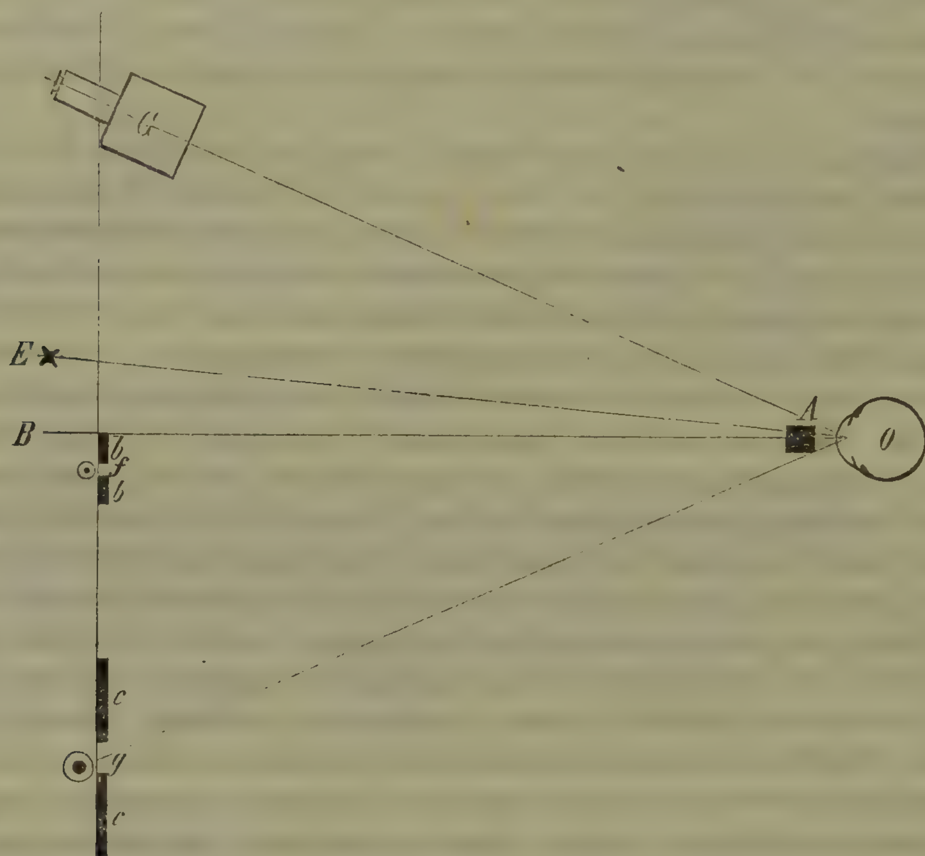
Die Messung am lebenden Auge wurde zuerst von Helmholtz (A. f. O. I. 2. p. 49), später von Knapp (A. f. O. VI. 2. p. 25) in folgender Weise ausgeführt: Da wegen der nicht bedeutenden Differenz zwischen dem Brechungsvermögen des Kammerwassers und der äusseren Linsenschicht die von der vorderen Linsenfläche entworfenen Spiegelbilder ziemlich lichtschwach sind, so ist eine genaue Messung derselben mittelst des Ophthalmometers kaum möglich. Helmholtz verfuhr daher so, dass er von einer grösseren und von einer kleineren hellen Linie Bilder auf der Hornhaut und der Linse spiegeln liess und die Grösse des Hornhautbildes, welches gemessen wurde, so lange variirte, bis es gleich gross, wie das von der vorderen Linsenfläche reflectirte Bild von der grösseren Flamme erschien. Wir haben uns nämlich vorzustellen für die Spiegelung von der vorderen Linsenfläche, dass das Licht durch die Hornhaut und das Kammerwasser vor der Linse wie durch eine convexconcave Linse geht, deren concave Seite mit Spiegelfolie belegt ist. Die Brennweite dieses Spiegels ist abhängig sowohl von der Krümmung des b r e c h e n d e n Systems, als von der Krümmung der s p i e g e l n d e n Fläche. Die Brennweite des brechenden Systems ist bekannt. Die Brennweiten spiegelnder Flächen verhalten sich aber für ferne Gegenstände umgekehrt wie die Grösse der Objecte, da für ferne Gegenstände die Brennweite gleich dem halben Radius gesetzt werden kann. Ist der Krümmungsradius der Hornhaut bekannt, so lässt sich aus ihm und aus den Brennweiten der beiden spiegelnden Flächen der Krümmungsradius der vorderen Linsenoberfläche berechnen.

Das Nähere über die Anstellung der Beobachtungen ist Folgendes: das beobachtete Auge befindet sich dicht an dem hinteren Rande eines kleinen wagerechten Planspiegels *A* Figur 20 und fixirt einen entfernten Punkt *E*. In 330 Mm. Abstand von dem Auge und in messbarer Höhe über der Ebene des Planspiegels ist eine grosse Gasflamme *g* angebracht und in gleichem Abstande vom Auge und in messbarer aber veränderbarer Höhe befindet sich eine zweite, kleinere Flamme *f*. Der Planspiegel bewirkt, dass Spiegelbilder von der grossen und kleinen Flamme entstehen und also Doppelreflexbilder vom beobachteten Auge *O* zurückgeworfen werden; die Grösse der Objecte ist also gegeben durch die doppelte Entfernung der Gasflamme von der Ebene, in welcher der Planspiegel liegt. Die grosse Flamme *g* dient zur Erzeugung zweier Reflexbildchen von der vorderen Linsenfläche, die kleine Flamme zur Erzeugung zweier Reflexbildchen von der Hornhaut: man stellt nun, während das beobachtete Auge den Punkt *E* fixirt, die kleine Flamme, indem man sie auf- oder abwärts schiebt, so ein, dass ihr

von der Hornhaut entworfenes Doppelbild genau gleich gross erscheint (dem in G befindlichen freien oder mit einem schwach vergrössernden Fernrohr versehenen Auge des Beobachters), wie das von der vorderen Linsenfläche herrührende Doppelbild der grossen Flamme.

Man erhält also gleich grosse Spiegelbilder von ungleich grossen, aber vom Auge gleich weit entfernten Objecten. Die Brennweiten der spiegelnden Systeme verhalten sich umgekehrt wie die Grösse der Objecte. Nennen wir das von der

Fig. 20.



Hornhaut gespiegelte Bild B_1, das von der vorderen Linsenfläche gespiegelte B_2, setzen die Grösse der beiden gleichen Bilder $= \beta$, die Distanz der Objecte von den spiegelnden Flächen $= d$, bezeichnen ferner den Krümmungsradius der Hornhaut mit R_1, den der Linsenkrümmung mit R_2, so ist

$$B_1 : \beta = (R_1 + d) : \tfrac{1}{2} R_1$$

und

$$B_2 : \beta = (R_2 + d) : \tfrac{1}{2} R_2$$

Beide Gleichungen durch einander dividirt geben

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{\frac{1}{2} R_2 (R_1 + d)}{\frac{1}{2} R_1 (R_2 + d)}$$

Da die Differenz zwischen R_1 und R_2 im Verhältniss zu d sehr klein ist, so ergiebt sich, wenn wir dieselbe vernachlässigen

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{\frac{1}{2} R_2}{\frac{1}{2} R_1}$$

Ist die Brennweite der Hornhaut bekannt ($= \frac{1}{2} R_1$), die der vorderen Linsenfläche $= q$, so finden wir

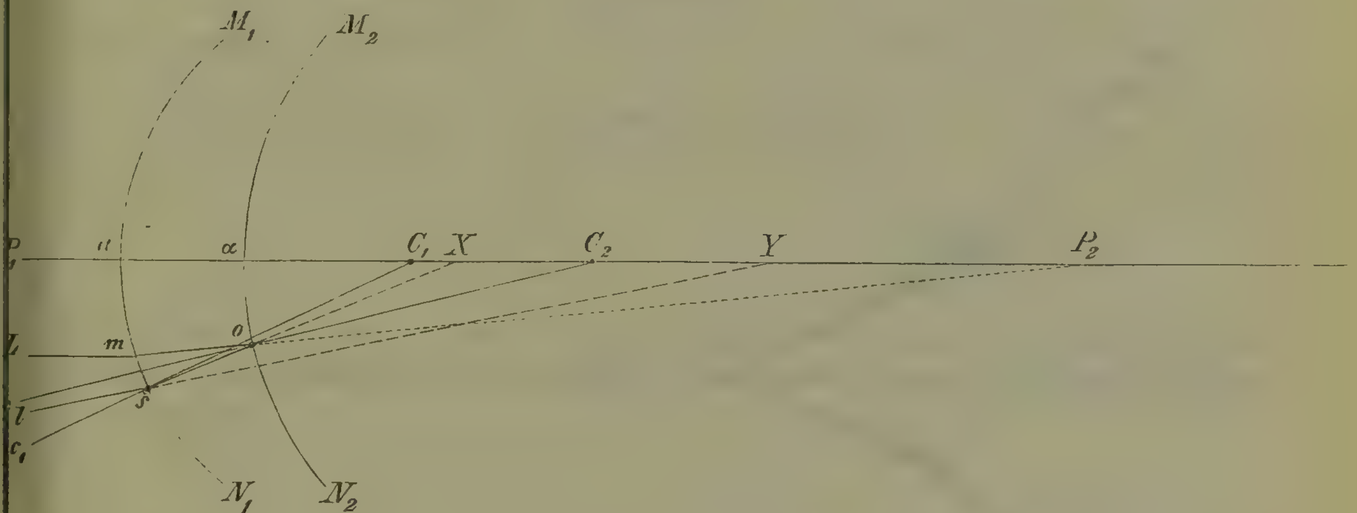
$$q = \frac{\frac{1}{2} R_1 \, B_1}{B_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{XIV)}$$

Nach dieser Formel erhält Knapp für seine vier normalsichtigen Augen folgende Brennweiten (Gauss'sche Hauptbrennweiten) der vorderen Linsenfläche: V = 5,517, VI = 5,300, VII = 5,617, VIII = 6,955, im Mittel 5,847 Mm.

Es ist dazu zu bemerken, dass jede der Zahlen ein Mittelwerth aus mindestens 4 Beobachtungen ist und dass, worauf wir sogleich noch zurückkommen werden, die Bestimmung sich weniger genau machen lässt, als für die Hornhaut. (Knapp, l. c. p. 47.) Damit ist nun die Entfernung des Brennpunktes vom zweiten Hauptpunkte des dioptrisch-katoptrischen Systems bestimmt. Um den Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche daraus zu berechnen, müssen wir 1) den Ort des Brennpunktes mit Bezug auf einen anderen bekannten Punkt, den Scheitelpunkt der Hornhaut, 2) den Ort des zweiten Hauptpunktes bestimmen.

Denken wir uns in Figur 21 eine Axe P_1 P_2 durch den Scheitelpunkt der Hornhaut a und den der vorderen Linsenfläche α gelegt, und nennen die Distanz

Fig. 21.



der beiden Scheitelpunkte d, den Krümmungsmittelpunkt der Hornhaut C_1, den der vorderen Linsenfläche C_2, ferner die vordere Brennweite des Hornhautsystems $F_{,}$, die hintere $F_{,,}$. Ein mit der Axe paralleler Lichtstrahl Lm wird nun zuerst durch das Hornhautsystem abgelenkt, dann von der Linsenfläche zurückgeworfen in o unter demselben Winkel, unter welchem er aufgefallen ist. Denken wir uns den zurückgeworfenen Strahl os rückwärts verlängert, so ist der Punkt X, in welchem er die Axe des Systems schneidet, der virtuelle Vereinigungspunkt, dessen Entfernung von dem Hornhautscheitel $aX = x$ sei; nennen wir endlich r den Radius der convexen spiegelnden Linsenfläche, welcher gefunden werden soll, so ist

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{d - F_{,,}} = \frac{2}{r}$$

woraus

$$\frac{1}{x} = \frac{2}{r} - \frac{1}{d - F_{,,}} = \frac{2\,(d - F_{,,}) - r}{r\,(d - F_{,,})}$$

und

$$x = \frac{r \cdot (d - F_{,,})}{2\,(d - F_{,,})\,r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \qquad \text{XV)}$$

Da die Strahlen bei ihrem Austritte aus der Hornhaut noch einmal gebrochen werden, so wird ihr virtueller Vereinigungspunkt Y weiter als X von dem

Scheitelpunkte der Hornhaut entfernt liegen nach Massgabe der Brennweite der Hornhaut, also sein Ort gegeben sein durch die Brennweiten des Hornhautsystems, die Bildweite des Linsenspiegels und die Entfernung des Hornhautscheitels von dem Linsenscheitel d. Setzen wir $\alpha Y = y$, so ist nach 5) (§ 2)

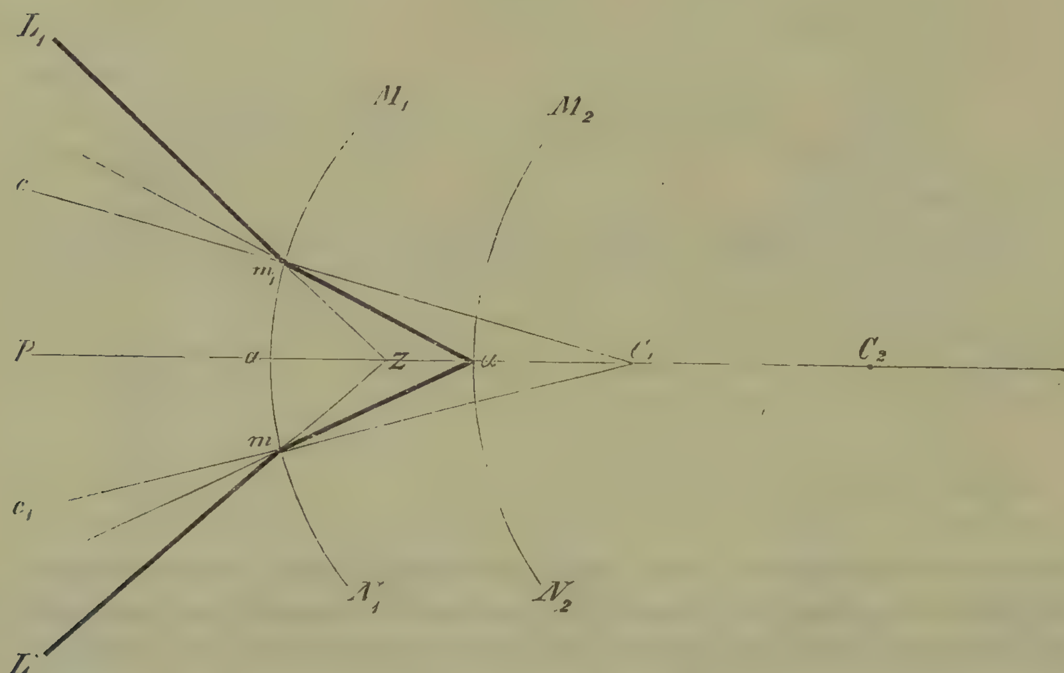
$$\frac{F_{\prime}}{y} + \frac{F_{\prime\prime}}{d - x} = 1$$

woraus
$$\frac{F_{\prime}}{y} = 1 - \frac{F_{\prime\prime}}{d - x} = \frac{d - x - F_{\prime\prime}}{d - x}$$

und
$$y = \frac{F_{\prime}\,(d - x)}{d - x - F_{\prime\prime}} \qquad \text{XVI)}$$

Zweitens ist nun noch erforderlich die Bestimmung des zweiten Hauptpunktes. Von den beiden Hauptpunkten ist jeder das Bild des anderen (§ 2). Ist zwischen der Hornhautkrümmung und der Linsenkrümmung ein gleichmässiges Medium, so fallen die beiden Hauptpunkte in einen zusammen, weil ein Strahl,

Fig. 22.



welcher im ersten Mittel durch den ersten Hauptpunkt geht, im letzten durch den zweiten gehen muss. Dieses ist der Punkt α Figur 22. Ein Strahl Lm, der im ersten Medium durch den ersten Hauptpunkt Z geht, trifft im mittleren den Punkt α, wird von demselben zurückgeworfen und nach seiner letzten Brechung geht seine Rückwärtsverlängerung wieder durch Z. Die beiden Hauptpunkte des combinirten Systems fallen hier zusammen; nennen wir die Entfernung dieses Punktes vom Hornhautscheitel aZ (d. h. die Entfernung des zweiten Hauptpunktes von dem ersten Hauptpunkte des brechenden Systems) z, so ist

$$\frac{F_{\prime}}{z} = \frac{F_{\prime\prime}}{d} = 1$$

woraus
$$z = \frac{d\,F_{\prime}}{d - F_{\prime\prime}}.$$

Die oben durch die Beobachtung gefundene Brennweite der vorderen Linsenfläche q ist nun in Bezug auf den Hornhautscheitel bestimmt durch die Gleichungen

für y und für z, indem y die Entfernung des Brennpunktes des combinirten dioptrisch-katoptrischen Systems vom Hornhautscheitel, z die Entfernung des Hauptpunktes vom Hornhautscheitel angiebt. Es ist also

$$q = y - z$$

und wenn wir die Werthe für y und z einsetzen

$$q = \frac{F_{,}\,(d - x)}{d - x - F_{,,}} - \frac{d \cdot F_{,}}{d - F_{,,}}$$

$$= \frac{(F_{,}\,d - F_{,}\,x)\,(d - F_{,,}) - d\,F_{,}\,(d - x - F_{,,})}{(d - x - F_{,,})\,(d - F_{,,})}$$

$$= \frac{F_{,}\,d\,(d - F_{,,}) - F_{,}\,x\,(d - F_{,,}) - d\,F_{,}\,(d - F_{,,}) + d\,F_{,}\,x}{(d - x - F_{,,})\,(d - F_{,,})}$$

$$= \frac{d\,F_{,}\,x - F_{,}\,x\,d - F_{,}\,x\,F_{,,}}{(d - x - F_{,,})\,(d - F_{,,})} = \frac{F_{,}\,F_{,,}}{\frac{(d - F_{,,})\,(d - x - F_{,,})}{x}}$$

$$= \frac{F_{,}\,F_{,,}}{(d - F_{,,})\left(\frac{(d - F_{,,})}{x} - 1\right)} \quad \ldots\ldots \quad \text{XVII}$$

Setzen wir den Werth für $x = \frac{r\,(d - F_{,,})}{2\,(d - F_{,,}) - r}$ ein, so wird

$$q = \frac{F_{,}\,F_{,,}}{(d - F_{,,})\left[\frac{(d - F_{,,})\,\left(2\,(d - F_{,,}) - r\right)}{r\,(d - F_{,,})} - 1\right]}$$

$$= \frac{F_{,}\,F_{,,}}{(d - F_{,,})\left(\frac{2\,(d - F_{,,}) - r}{r} - 1\right)} = \frac{r \cdot F_{,}\,F_{,,}}{2\,(d - F_{,,})\,(d - F_{,,} - r)}$$

Hieraus lässt sich nun r, der Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche, berechnen, da q durch Beobachtung gefunden, d, $F_{,}$ und $F_{,,}$ gleichfalls bekannt sind, nämlich

$$2q\,(d - F_{,,})^2 = r\,F_{,}\,F_{,,} + r \cdot 2q\,(d - F_{,,})$$

$$q\,(d - F_{,,})^2 = r\left(\tfrac{1}{2}\,F_{,}\,F_{,,} + q\,(d - F_{,,})\right)$$

$$\frac{q\,(d - F_{,,})^2}{\frac{1}{2}F_{,}\,F_{,,} + q\,(d - F_{,,})} = r$$

oder wie HELMHOLTZ schreibt $\left(\text{da } (d - F_{,,})^2 = (F_{,,} - d)^2 \text{ ist}\right)$

$$r = \frac{q\,(F_{,,} - d)^2}{\frac{1}{2}\,F_{,}\,F_{,,} - q\,(F_{,,} - d)}$$

und da q als virtuelles Bild negativ zu nehmen ist

$$r = -\frac{q\,(F_{,,} - d)^2}{\frac{1}{2}\,F_{,}\,F_{,,} + q\,(F_{,,} - d)} \quad \ldots\ldots \quad \text{XVIII}$$

Nach dieser Formel haben HELMHOLTZ und KNAPP folgende Werthe für den Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche bei Ruhe, bezw. Accommodation für die Ferne erhalten:

HELMHOLTZ II = 11,9 Mm., III = 8,8 Mm., IV = 10,4 Mm.,
KNAPP V = 8,3 - VI = 7,9 - VII = 7,9 - VIII = 9,1
im Mittel = 9,1 Mm.

Die Differenzen der dieser Berechnung zu Grunde liegenden Einzelbestimmungen sind wegen der Lichtschwäche der Reflexbilder und wegen der Grösse der Flammen, die zu ihrer Erzeugung dienen, ziemlich gross und betragen bis 11% für r; wir haben deswegen nur die erste Decimale angegeben.

Wegen der Lichtschwäche und Undeutlichkeit der Reflexbilder kam HELM-

holtz auf den Gedanken, Sonnenlicht statt der Gasflammen zu benutzen, was von Rosow (A. f. O. XI. 2. p. 129), Strawbridge (Zehender's Monatsblätter VII. p. 480), Adamück und Woinow (A. f. O. XVI. 1. p. 150. — Woinow, Ophthalmometrie p. 100), Mandelstamm und Schöler (A. f. O. XVIII. 1. p. 172) und Reich (A. f. O. XX. 1. p. 218) ausgeführt wurde. Folgendes sind die erhaltenen Werthe für r:

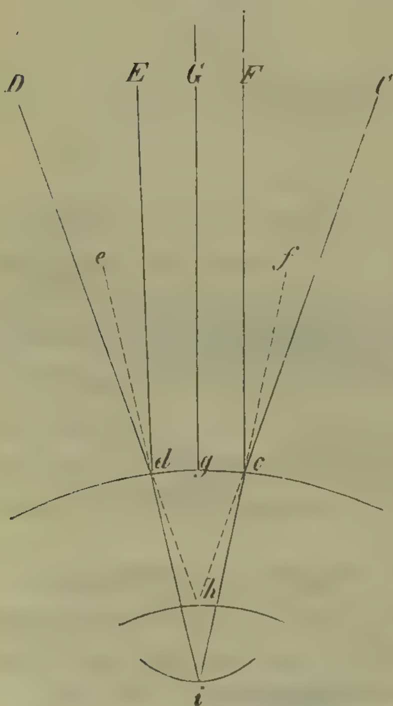
Rosow:	9,824,
Strawbridge	9,851—10,761,
Adamück und Woinow:	9,777—10,202 — 9,114—10,543 (Presbyopen),
Mandelstamm und Schöler:	9,541—10,159,
Reich:	10,408—10,565 — 11,197 (Myopen).

Als Mittel aus diesen letzten zwölf Beobachtungen würde sich ergeben $r = 10{,}25$ Mm., was mit dem Mittel aus den Messungen von Helmholtz $r = 10{,}4$ sehr wohl stimmt, von dem Mittel aus Knapp's Bestimmungen $r = 8{,}3$ sehr abweicht.

Als abgerundete Mittelzahl dürfen wir wohl für den Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche 10 Mm. annehmen.

§ 9. Ort des hinteren Linsenscheitels. Der Ort des hinteren Linsenscheitels muss in anderer Weise bestimmt werden, als der Ort des vorderen Linsenscheitels, da die hintere Linsenfläche mit keinem sichtbaren Theile in Berührung ist, wie es die Iris für die Vorderfläche der Linse ist. Die Bestimmung besteht im Princip darin, dass der Beobachter von zwei verschiedenen Richtungen nach einander den Lichtreflex, welcher genau von demselben Punkte der hinteren Linsenfläche geworfen wird, in Bezug auf einen Hornhautreflex von bekannter Lage bestimmt. Man verfährt dabei so, dass man den Reflex des Lichtes an der hinteren Linsenfläche aufsucht und dann in einer zweiten Beobachtung das Licht genau an die Stelle des Auges, das Auge genau an die Stelle des Lichtes bringt. Das Licht geht dann in der zweiten Beobachtung genau auf demselben Wege zurück, auf dem es bei der ersten Beobachtung gekommen war, muss also genau an derselben Stelle gespiegelt werden. Bringt man bei beiden Beobachtungen den Linsenreflex mit einem Hornhautbildchen zur Deckung, so findet sich der scheinbare Ort des reflectirenden Punktes der hinteren Linsenfläche in dem Durchschnittspunkte der beiden, durch die betreffenden Hornhautbildchen gehenden Gesichtslinien. — Wenn wir den Ort des vorderen und den Ort des hinteren Linsenscheitels bestimmt haben, so haben wir zugleich die Dicke der Krystalllinse bestimmt.

Fig. 23.

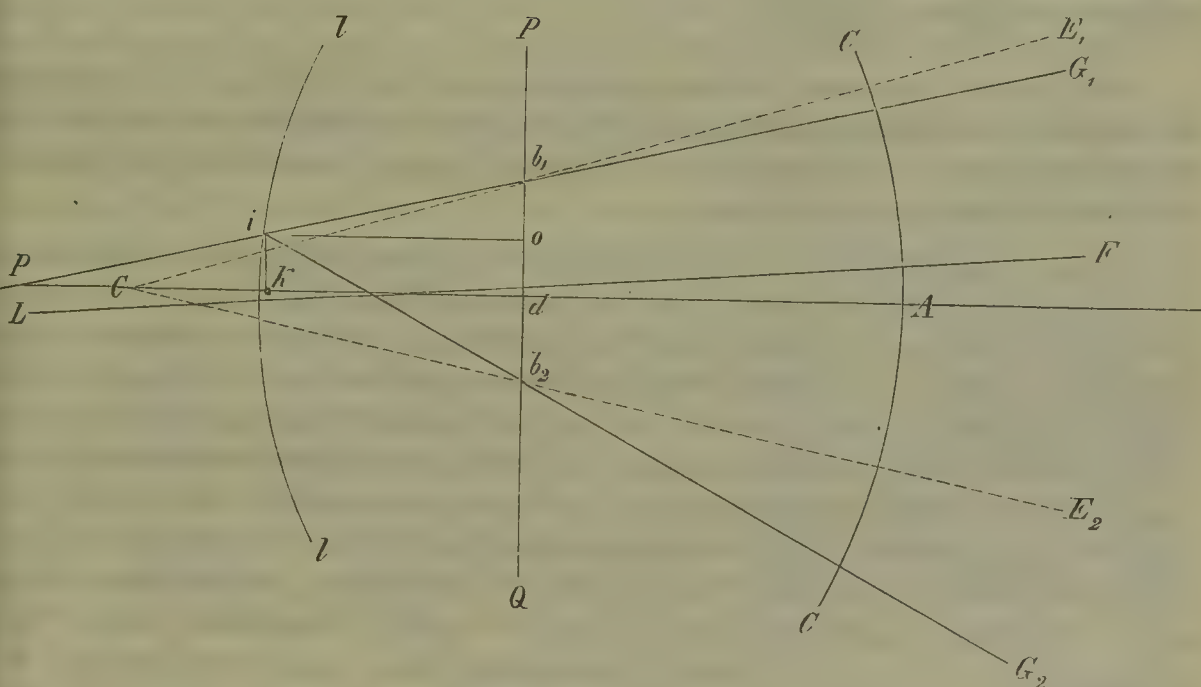


Die Beobachtung wird in folgender Weise (Helmholtz) ausgeführt: von dem beobachteten Auge wird der Punkt F fixirt Figur 23; bei der ersten Beobachtung befindet sich die grosse Lichtflamme in C, so dass das Licht in i von der hinteren Linsenfläche reflectirt wird nach D, dem

durch ein Stubenfernrohr blickenden Auge des Beobachters; eine kleine blaue Flamme G wird so lange an einer gegen die Gesichtslinie verticalen Skala verschoben, bis ihr Hornhautbild g mit dem Reflexbilde i zusammenzufallen scheint; bei der zweiten Beobachtung befindet sich das Auge des Beobachters in C, die grosse Lichtflamme in D: das Licht geht dann auf gleichem Wege, nur in umgekehrter Richtung; die kleine blaue Flamme werde, damit ihr Hornhautreflexbild d mit dem Reflexbilde der hinteren Linsenfläche zusammenfalle, in E aufgestellt. Sind die Orte des beobachtenden Auges, des beobachteten Auges und der grossen Lichtflamme durch Messung bestimmt, so erhält man die Winkel, welche die Richtungslinie Cc und Dd mit der Gesichtslinie bilden. Sind ebenso die Orte der kleinen blauen Flamme durch Messung bestimmt, so findet man daraus die Winkel, welche die Einfallslothe ed und fc auf der Hornhaut mit der Gesichtslinie bilden, und daraus, da die Krümmung der Hornhaut bekannt ist, die Länge des Hornhautbogens dg und gc oder die Lage der Punkte d und c auf der Hornhaut. Aus der Lage dieser Punkte und aus der Richtung der Linien Cc und Dd findet sich der scheinbare Ort des spiegelnden Punktes der hinteren Linsenfläche.

Die Berechnung kann in folgender Weise ausgeführt werden: es sei CC Figur 24 die Hornhautkrümmung, PA die Hornhautaxe, FL die Gesichtslinie, ll die Krümmung der hinteren Linsenfläche, PQ die Brennebene des Hornhaut-

Fig. 24.



spiegels, welche den Punkt d so schneidet, dass $Cd = dA = \frac{1}{2}R$; die Richtungslinie des Fernrohrs und der Flammen G_1 und G_2 schneiden die Brennebene in den Punkten b_1 und b_2, welche zugleich die Durchschnittspunkte für die Richtungslinie der Hornhautbildchen $E_1 C$ und $E_2 C$ sind. Wir haben nun den Punkt i zu bestimmen, sowohl in Bezug auf die Hornhautaxe, als auf den Scheitelpunkt der Hornhautkrümmung A. Bezeichnen wir die Linie $b_1 d$ mit $\beta_{,}$, die Linie $b_2 d$ mit $\beta_{,,}$ und die Winkel $b_1 Cd$ und $b_2 Cd$, welche die Richtungslinie der kleinen Flamme mit der Hornhautaxe bildet, mit p_1 und p_2, so ist

$$\beta_, = \tfrac{1}{2} R \text{ tang } p_1$$
$$\beta_{,,} = \tfrac{1}{2} R \text{ tang } p_2$$

Bezeichnen wir wieder ik mit y, so ist

$$y = \beta_, - b_1 o$$

$b_1 o$ aber ist $= b_1 i \cdot \sin b_1 io$

Den $\angle b_1 io$ können wir aber, da G_1 mit der Hornhautaxe denselben Winkel bildet wie $G_2 = \angle b_2 io$ setzen und bezeichnen ihn mit α, dann ist

$$y = \beta_, - b_1 i \cdot \sin \alpha$$

$b_1 i$ ist aber $= \dfrac{b_1 b_2 \cdot \cos \alpha}{\sin 2\alpha} = \dfrac{(\beta_, + \beta_{,,}) \cos \alpha}{\sin 2\alpha}$

daher
$$y = \beta_, - \frac{(\beta_, + \beta_{,,}) \sin \alpha \cos \alpha}{\sin \alpha \cos \alpha + \cos \alpha \sin \alpha}$$
$$= \beta_, - \frac{(\beta_, + \beta_{,,})}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad XIX$$

Es sei ferner die Linie $kA = x$, so haben wir

$$x = \tfrac{1}{2} R + kd$$

kd ist aber $= io = b_, i \cdot \cos \alpha$, und da $b_, i = \dfrac{(\beta_, + \beta_{,,}) \cos \alpha}{\sin 2\alpha}$ war,

so wird $\quad kd = \dfrac{\beta_, + \beta_{,,}}{2 \text{ tang } \alpha}$,

mithin $x = \tfrac{1}{2} R + \dfrac{(\beta_, + \beta_{,,})}{2 \text{ tang } \alpha}$ . . . . . XX.

Die Winkel $p_1 p_2$ und α finden sich durch directe Messung der Entfernung der Flammen und des Beobachterauges von der Gesichtslinie und von dem beobachteten Auge. — Ist y positiv, so liegt der hintere Scheitel der Krystalllinse medianwärts von der Hornhautaxe.

Es ist damit die scheinbare Lage von i in Bezug auf den Hornhautscheitel und die Hornhautaxe bestimmt. Um die wirkliche Lage zu bestimmen, müsste erstens die Brechung, welche durch das Hornhautsystem hervorgebracht wird, bestimmt werden, was ebenso wie für die vordere Fläche der Krystalllinse berechnet wird mittelst der Formel 5) für die conjugirten Brennpunkte. — Zweitens müsste die Brechung bestimmt werden, welche durch die Masse der Krystalllinse ausgeübt wird: diese Bestimmung ist nicht direct ausführbar, weil wir die optischen Constanten der Linse am lebenden Auge nicht ermitteln können, die Linse ausserdem nicht centrirt ist. Der Werth des wirklichen y bleibt daher unbekannt. Der Werth des wirklichen x, den wir mit ξ' bezeichnen wollen, lässt sich auf einem Umwege annähernd bestimmen, und diese approximative Bestimmung kann als genügend angesehen werden, weil der Punkt i sehr nahe dem hinteren Knotenpunkte des Auges liegt. Ist für eine in Glaskörperflüssigkeit liegende Linse die Entfernung der Knotenpunkte von einander $= d$, die Entfernung des Punktes i vom hinteren Knotenpunkte $= a$, die Brennweite der Linse $= \varphi$, so ist die scheinbare Verschiebung des Punktes i nach vorn $= d - \dfrac{a^2}{\varphi}$. Helmholtz hat für a an todten Linsen 1,546 bis 1,499 Mm. für φ 45,14 bis 47,43 Mm., für d 0,203 Mm. gefunden, woraus sich ξ' um 0,150 bis 0,156 Mm. grösser berechnet als x.

Für den wahren Abstand des hinteren Linsenscheitels von dem Hornhautscheitel hat Helmholtz folgende Werthe gewonnen:

II = 7,089, III = 7,335, IV = 7,145,

Knapp für seine vier normalen Augen

V = 7,513, VI = 7,457, VII = 7,153, VIII = 7,101.

Als Mittel würden wir 7,2 Mm. anzunehmen haben.

Mandelstamm und Schöler (A. f. O. XVIII. 1. p. 177) fanden mittelst des Mikrooptometers für ihre eigenen Augen folgende Werthe (a. a. O. mit $d + p + \varepsilon$ bezeichnet): M = 7,578, S = 7,122 Mm., und Reich (A. f. O. XX. 1. p. 219) nach derselben Methode XVI = 7,647, XVII = 7,416, XVIII = 7,433 Mm.

Aus diesen sämmtlichen Bestimmungen ergiebt sich im Mittel der wahre Abstand des hinteren Linsenscheitels von dem Hornhautscheitel = 7,332.

Für den Werth y, d. h. den Abstand des hinteren Linsenscheitels von der Hornhautaxe liegen nur Zahlenangaben von Helmholtz vor, welcher fand y bei

II = 0,026—0,133, III = 0,143—0,177, IV = 0,146—0,213 Mm.

Diese Werthe sind so gering, dass sie vernachlässigt werden können.

Ziehen wir nun den Werth, welchen wir für den Abstand des vorderen Linsenscheitels von dem Hornhautscheitel erhalten haben, = ξ ab von dem Werthe ξ', dem Abstand des hinteren Linsenscheitels von dem Hornhautscheitel, so erhalten wir den Werth für die Dicke der Linse. Das Mittel von ξ' ist = 7,332, das Mittel für ξ war (§ 7) = 3,430, wir erhalten also $\xi' - \xi$ = 3,902 und können also in runder Zahl für die Dicke der Linse 4 Mm. annehmen.

Dieser Werth weicht sehr wenig von den Befunden Krause's und Helmholtz's an todten Linsen ab: Krause fand 4,05—5,4 Mm., Helmholtz 4,2 und 4,3 Mm., indess spricht er für die Annahme von Helmholtz, dass sich die Dicke der Linse nach dem Tode vergrössert. Ob es sich hierbei um Imbibitionserscheinungen oder um die Folge der Ablösung der Linse von ihren Verbindungen handelt, ist nicht zu entscheiden. Letzteres ist indess, wie wir in § 15 sehen werden, sehr wahrscheinlich, da die Linse während des Lebens durch die *Zonula Zinnii* in Spannung erhalten und abgeplattet wird, und nur im Zustande stärkster Accommodation die ihrer Elasticität entsprechende natürliche Form annimmt; wir werden aber sehen, dass die accommodirte Linse im Lebenden reichlich so dick gefunden wird, als die Beobachtungen von Krause und Helmholtz für todte herausgenommene Linsen ergeben. Nach Knapp nahm die Dicke der Linse bei der Accommodation im Mittel seiner vier Augen von 3,8 Mm. auf 4,4 Mm. zu. (A. f. O. VI. 2. p. 38.)

§ 10. Krümmung der hinteren Linsenfläche. Wir haben schon in § 8 bemerkt, dass die Krümmung der hinteren Linsenfläche an todten Linsen von Helmholtz und Knapp zwischen 5,173 und 5,889 Mm. gefunden worden ist.

Am lebenden Auge misst man entweder die Grösse der Spiegelbilder der hinteren Linsenfläche mit dem Ophthalmometer ähnlich wie bei der Hornhaut (§ 4), oder man bestimmt die Brennweite des aus der hinteren Linsenfläche und dem davor liegenden brechenden Systeme zusammengesetzten dioptrisch-katoptrischen Systeme auf dieselbe Art, wie für die vordere Linsenfläche (§ 8). Es wird dabei ebenso wie für die vordere Fläche der Linse die Annahme gemacht,

dass die Krümmung der hinteren Linsenfläche eine sphärische sei, was bei de Kleinheit des in Betracht kommenden Bogens erlaubt ist. Die Spiegelbilder de hinteren Linsenfläche sind scharf und lichtstark, aber sehr klein.

Die erste der beiden Methoden ist von Helmholtz und seinen Schüler Adamück und Woinow, Rosow, Strawbridge, Mandelstamm und Schöler, und Reich (von den drei letzten mit Benutzung des Mikrooptometers § 7) angewendet worden. Die Platten des Ophthalmometers werden so eingestellt, dass man dre leuchtende Punkte mit zwei gleichen Zwischenräumen erhält. Aus der Entfernung des leuchtenden Objectes von dem beobachteten Auge, der Grösse desselben und der mittelst des Ophthalmometers oder Mikrooptometers gemessene Grösse des Bildes berechnet man dann die Brennweite q des vor der hintere Linsenfläche gelegenen dioptrisch-katoptrischen Systems und aus dieser de Krümmungsradius r der hinteren Linsenfläche (§ 8).

Die zweite Methode, welche von Knapp (A. f. O. VI. 2. p. 34) angewende wurde, beruht darauf, dass man die Grösse der von der Hornhaut gespiegelte Bilder eben so gross macht, wie die der von der hinteren Linsenfläche zurückgeworfenen Bilder und aus den Entfernungen die Brennweiten bestimmt.

Indem wir wegen des Näheren auf § 8 verweisen, bemerken wir, dass i der Formel für den Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche q und r positi zu setzen sind, weil dieselbe als Concavspiegel wirkt, also

$$r = \frac{q\,(F_{\prime\prime} - d)^2}{\frac{1}{2} F_{\prime} F_{\prime\prime} - q\,(F_{\prime\prime} - d)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{XXI}$$

Da ferner die Werthe $F_{\prime}$ und $F_{\prime\prime}$ nicht für das individuelle Auge berechne werden können, so hat man dafür die für das schematische Auge (s. § 11) substituirt und $F_{\prime} = 14{,}857$, $F_{\prime\prime} = 19{,}875$ gesetzt. d ist hier gleich dem Abstand des hinteren Linsenscheitels von dem zweiten Hauptpunkte des Auges. $F_{\prime\prime} - d$ ist dann gleich der Entfernung des hinteren Brennpunktes des Auges von de Hinterfläche der Linse: setzen wir diese $= p$, so erhalten wir

$$r = \frac{q \cdot p^2}{\frac{1}{2} F_{\prime} F_{\prime\prime} - q \cdot p} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{XXII}$$

Folgende Werthe sind für r gefunden worden:
Helmholtz: II = 5,83, III = 5,13, IV = 5,37,
Knapp: V = 5,355, VI = 5,487, VIII = 6,901, VIII = 6,499,
Rosow: IX = 6,125,
Adamück-Woinow: X = 6,063, XI = 6,216, XII = 7,600, XIII = 6,533,
Mandelstamm und Schöler: XIV = 6,409, XV = 6,331,
Reich: XVI = 6,587, XVII = 5,537, XVIII = 6,223,
Strawbridge: XIX = 5,302, XX = 5,701,
Woinow (Ophthalm. p. 112): XXI = 6,248, XXII = 7,190 Mm.

Im Mittel aus diesen 21 Bestimmungen an emmetropischen, myopischen und presbyopischen Augen ergiebt sich für den Krümmungshalbmesser de hinteren Linsenfläche 6,125 Mm.

§ 11. Die Cardinalpunkte des Auges. Wir haben in den vorhergehenden Paragraphen die physikalischen und anatomischen Grundlagen gewonnen, um den Gang der Lichtstrahlen im lebenden Auge weiter bestimmen zu können. Nach den Besprechungen in § 2 werden wir die Cardinalpunkte

des combinirten brechenden Systems im Auge zu bestimmen haben, um den Weg finden zu können, welchen ein beliebiger Lichtstrahl im Auge zu durchlaufen hat. Die Cardinalpunkte sind die beiden Brennpunkte, die beiden Hauptpunkte und die beiden Knotenpunkte.

Zur Berechnung der Cardinalpunkte des Auges kann man so verfahren, dass man zuerst die Hauptbrennweiten, dann die Hauptebenen berechnet, woraus sich dann die Lage der Brennpunkte ergiebt. Die Lage der Knotenpunkte ergiebt sich dann aus der Lage der Brennpunkte und aus den Hauptbrennweiten.

Für das Hornhautsystem haben wir schon in § 6 die vordere und hintere Brennweite berechnet. Für eine einzige brechende Kugelfläche fallen die beiden Hauptpunkte in einen zusammen und liegen im Scheitelpunkte der Kugelfläche; die Knotenpunkte fallen gleichfalls in einen zusammen, welcher im Mittelpunkte der Kugelfläche gelegen ist. Wir haben dann $F_{,,} = F_{,} n_1 = F_{,} + r_{,}$

im Mittel für die vordere Brennweite $F_{,} = 22,5$ Mm.

- - - - hintere - $F_{,,} = 30,2$ -

In der Krystalllinse, die wir uns in Glaskörperflüssigkeit liegend denken, sind, weil das erste und dritte Medium einander gleich sind, auch die beiden Brennweiten einander gleich, wie aus Formel 14[a]) § 2 sich ergiebt. Setzen wir die Brennweite der Krystalllinse $= \varphi$, so findet sich dasselbe, wenn wir mit n_1 den Brechungsexponenten der Glaskörperflüssigkeit, mit n_2 den totalen Brechungsindex der Krystalllinse, mit $r_{,}$ den Krümmungsradius der vorderen, mit $r_{,,}$ den der hinteren Linsenfläche, endlich mit d die Dicke der Linse bezeichnen nach 14[a])

$$\varphi = \frac{n_1 \, n_2 \, r_{,} \, r_{,,}}{(n_2 - n_1)\left[n_2 (r_{,,} - r_{,}) + (n_2 - n_1)\, d\right]}$$

Im Mittel war $n_1 = 1,3376 = \frac{103}{77}$; $n_2 = 1,4545 = \frac{16}{11}$,

$r_{,} = 10$ Mm., $r_{,,} = -6,125$ Mm., $d = 4$ Mm., daraus ergiebt sich

$\varphi = 41,934$ Mm.

Da die Hauptbrennweite die Distanz zwischen dem Hauptpunkte und dem Brennpunkte bedeutet (§ 2, Figur 4), so werden wir durch Bestimmung der Hauptpunkte auch zugleich die Lage der Brennpunkte bestimmen.

Die Entfernung der ersten Hauptebene von der vorderen Fläche der Krystalllinse findet sich nach Formel 15) (§ 2), wenn wir in derselben $n_3 = n_1$ setzen

$$h' = \frac{n_1 \, d \, r_{,}}{n_2 (r_{,,} - r_{,}) + (n_2 - n_1)\, d}$$

Die Rechnung ergiebt $h' = -2,2367$ Mm., wobei das negative Vorzeichen bedeutet, dass h' innerhalb der Concavität der Linse gelegen ist. Entsprechend finden wir für $h'' = -\frac{n_2 \, d \, r_{,,}}{n_2 (r_{,,} - r_{,}) + (n_2 - n_1)\, d}$ den Werth $h'' = -1,3700$ Mm.

Hieraus können wir nun weiter die cardinalen Punkte für das ganze dioptrische System des Auges berechnen, indem wir erst wieder die beiden Hauptbrennweiten, dann die Hauptpunkte bestimmen.

Die erste Hauptbrennweite des Auges, welche wir mit F_1 bezeichnen wollen, findet sich aus den Brennweiten der Hornhaut und der Krystalllinse mit Berücksichtigung der Distanz zwischen der zweiten Hauptebene des ersten und der ersten Hauptebene des zweiten Systems, d. h. der Entfernung vom Hornhautscheitel bis zur ersten Hauptebene der Krystalllinse, welche wir mit d' be-

zeichnen wollen. Die Entfernung des Hornhautscheitels bis zur Vorderfläche der Krystalllinse haben wir in § 7 = 3,430 Mm. im Mittel gefunden; addiren wir h' hinzu, so erhalten wir für $d' = 5{,}666$ Mm. Bezeichnen wir die Hauptbrennweiten der Hornhaut mit $f_{,}$ und $f_{,,}$, so erhalten wir nach Formel 13) (§ 2)

$$F_1 = \frac{\varphi \cdot f_{,}}{\varphi + f_{,} - d'}$$

und die Rechnung ergiebt $F_1 = 14{,}197$ Mm.

Die zweite Hauptbrennweite ergiebt sich entsprechend

$$F_2 = \frac{\varphi \cdot f_{,,}}{\varphi + f_{,,} - d'} = F_1\, n_1 \text{, und berechnet sich}$$

$$F_2 = 18{,}990 \text{ Mm.}$$

Die Hauptebenen des Auges, welche wir mit H_1 und H_2 bezeichnen, ergeben sich nun weiter nach Formel 12) (§ 2), indem die Entfernung der ersten Hauptebene des Auges von der ersten Hauptebene des ersten Systems, d. h. dem Hornhautscheitel

$$H_1 = \frac{d'\, f_{,}}{d' - \varphi - f_{,,}}$$

woraus $H_1 = -1{,}918$ Mm. sich berechnet.

Da der Werth negativ ist, so liegt die erste Hauptebene des Auges um 1,918 Mm. hinter dem Hornhautscheitel.

Die Entfernung der zweiten Hauptebene des Auges von der zweiten Hauptebene des zweiten Systems (der zweiten Hauptebene der Krystalllinse) ergiebt sich

$$H_2 = \frac{d'\, \varphi}{d' - \varphi - f_{,,}}$$

und findet sich daraus = 3,5716 Mm. Wollen wir die Entfernung der zweiten Hauptebene in Bezug auf den Hornhautscheitel bestimmen, so müssen wir von der Entfernung des Hornhautscheitels von der hinteren Fläche der Krystalllinse abziehen die Distanz der zweiten Hauptebene des Auges von der zweiten Hauptebene der Krystalllinse $= \xi' - (h_{,,} + H_2) = 7{,}332 - (1{,}370 + 3{,}571)$.

Die zweite Hauptebene des Auges liegt also (da H_2 negativ ist) 2,391 Mm. hinter dem Hornhautscheitel.

Aus der Lage der Hauptpunkte ergiebt sich nun die Lage der beiden Brennpunkte des Auges in Bezug auf den Hornhautscheitel, wenn wir die Entfernung des ersten Hauptpunktes von dem Hornhautscheitel $= -H_1$ addiren zu der ersten Hauptbrennweite F_1, so dass die Rechnung für $F_1 - H_1$ ergiebt $= 12{,}279$ Mm., und entsprechend $H_2 + F_2 = 21{,}380$ Mm.

Endlich finden wir die Lage der Knotenpunkte in Bezug auf den Hornhautscheitel aus der Lage der Brennpunkte und der Hauptbrennweiten. Bezeichnen wir den ersten Knotenpunkt des Auges mit K_1, den zweiten mit K_2, so finden wir die Entfernung des ersten Knotenpunktes von dem Hornhautscheitel, wenn wir die Distanz des ersten Brennpunktes vom Hornhautscheitel abziehen von der zweiten Hauptbrennweite. Die Rechnung ergiebt

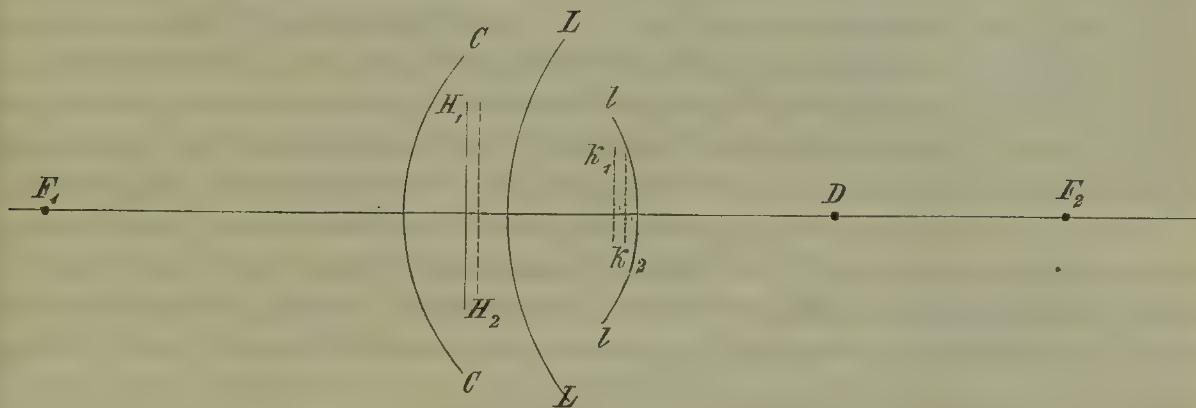
$$K_1 = 18{,}990 - 12{,}279 = 6{,}711 \text{ Mm.}$$

und entsprechend die Lage des zweiten Knotenpunktes, wenn wir von der ersten Hauptbrennweite abziehen die Entfernung des zweiten Brennpunktes vom Hornhautscheitel, also $K_2 = F_1 - (H_2 + F_2) = -7{,}183$. — Oder wenn wir zu K_1 die Distanz der beiden Hauptpunkte von einander addiren. Die Distanz der

beiden Hauptpunkte von einander findet sich aber = 0,472 Mm. ($= H_2 - H_1$) und nach beiden Rechnungen auch $K_2 - K_1 = 0,472$ Mm.

Damit wäre die Lage der Cardinalpunkte für das Auge bestimmt. Wir geben in Figur 25 eine Uebersicht derselben in dreifacher Vergrösserung der natürlichen Verhältnisse des mittleren Auges. *CC* bedeutet die Hornhaut, *LL* die

Fig. 25.



Krümmung der vorderen Linsenfläche, *ll* die der hinteren Linsenfläche, F_1, F_2 die Brennpunkte, H_1 H_2 die Hauptebenen, k_1 k_2 die Knotenebenen. Endlich bedeutet *D* die Lage des Drehpunktes, deren Bestimmung in § 68 besprochen werden wird.

Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht über die Lage der Cardinalpunkte in LISTING's schematischem Auge, in HELMHOLTZ' (Physiol. Optik 111) schematischem Auge, in KNAPP's Auge V (normal), in ADAMÜCK und WOINOW's Auge XI (Presbyopie) und in dem nach den Mittelzahlen berechneten Auge.

Tabelle IV.

	LISTING.	HELMHOLTZ.	KNAPP.	ADAMÜCK und WOINOW.	Mittleres Auge.
F_1	— 12,8326	— 12,918	— 11,819	— 12,534	— 12,279
H_1	2,1746	1,940	2,132	1,705	1,918
H_2	2,5724	2,356	2,540	2,074	2,390
K_1	7,2420	6,957	6,821	6,506	6,711
K_2	7,6398	7,373	7,229	6,875	7,183
F_2	22,6470	22,231	21,180	21,114	21,380

§ 12. **Das reducirte Auge.** Wir sind mittelst der gefundenen Werthe im Stande, den Gang der einfallenden Lichtstrahlen im Auge zu construiren, so wie den Ort eines beliebigen, in der Nähe der Augenaxe gelegenen Punktes zu finden. Da aber einerseits die Berechnungen verschiedener Beobachter auch für normale Augen mancherlei Differenzen ergeben, ferner die Fehlergrenzen der Einzelbeobachtungen eine gewisse Breite haben, die man auf etwa 5% schätzen kann (man vergleiche die Auseinandersetzungen hierüber von KNAPP (A. f. O. VI. 2. p. 46 u. f.), so ist es erlaubt, eine weitere Reduction auf Mittelwerthe vorzunehmen, wie es VOLKMANN, MOSER und LISTING gethan haben (LISTING, Dioptrik

im Handwörterbuch der Physiologie IV. 1853, p. 493). — Für ein reducirtes Auge würde zunächst die Annahme zu machen sein, dass dasselbe nur einen einzigen Knotenpunkt und einen einzigen Hauptpunkt hat. Die Lage der Brennpunkte würde dieselbe bleiben müssen. Da die Distanz der beiden Hauptpunkte oder der beiden Knotenpunkte nach allen Berechnungen weniger als ein halbes Millimeter beträgt, so ist die Reduction mit Rücksicht auf die vielen Vortheile bei Bestimmung der conjugirten Brennpunkte, der Grösse der Netzhautbilder, der Ausdehnung der Zerstreuungskreise u. s. w. wohl gerechtfertigt. Die Annahme eines einzigen Knotenpunktes würde die Annahme involviren, dass die brechenden Medien des Augapfels eine homogene Masse von gleichem Brechungsvermögen bildeten, deren Krümmungsmittelpunkt mit dem Knotenpunkt zusammenfiele, während der Hauptpunkt in dem Scheitelpunkte der Krümmung gelegen wäre. Da die Lage des hinteren Brennpunktes unverändert bleiben muss, wenn deutliches Sehen stattfinden soll, so würde F_2 ungefähr 19 Mm. hinter dem Scheitelpunkte des brechenden Augenmediums liegen müssen; diese Bedingung würde erfüllt sein, wenn die brechende Fläche des Auges einen Halbmesser von 4,75 Mm. hätte und das Brechungsvermögen des Augenmediums $= \frac{4}{3}$ oder 1,333 . . gesetzt würde, also ungefähr gleich dem Brechungsexponenten des Kammerwassers oder des Glaskörpers. Wir hätten dann nach Formel 4) (§ 2)

$$F_2 = \frac{n \cdot r}{n - 1} = \frac{\frac{4}{3} \cdot 4,75}{\frac{1}{3}} = 19 \text{ Mm.}$$

$$F_1 = \frac{r}{n - 1} = \frac{4,75}{\frac{1}{3}} = 14,25 \text{ Mm.}$$

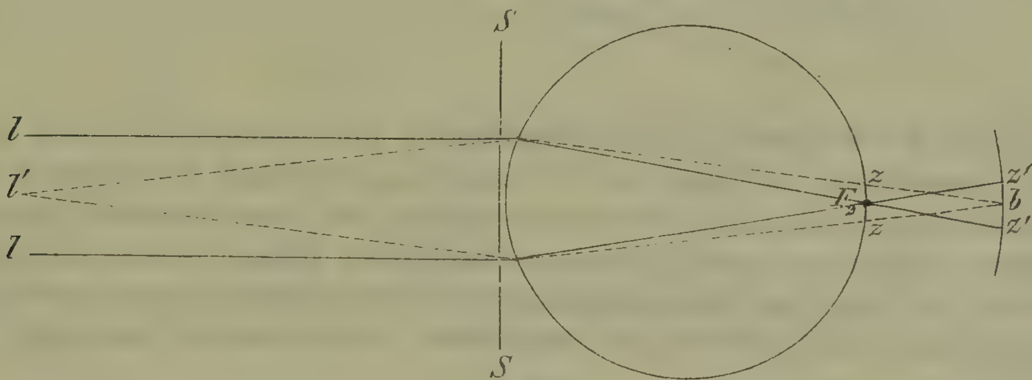
Noch einfacher nimmt Donders $F_2 = 20$, $r = 5$, $n = \frac{4}{3}$ an. In diesem Falle würde der Knotenpunkt 15 Mm. vor dem hinteren Brennpunkte liegen, eine Annahme, welche noch mehr dem Listing'schen und Helmholtz'schen schematischen Auge sich nähert und gewöhnlich den Berechnungen der Bildgrössen, Zerstreuungskreise u. s. w. zu Grunde gelegt wird. Wir werden im Folgenden gleichfalls diese Annahme machen und die Netzhaut im hinteren Brennpunkte des normalen ruhenden (nicht accommodirten) Auges 15 Mm. hinter dem Knotenpunkte gelegen rechnen.

§ 13. Die Accommodation des Auges. Mögen wir nun von den Brechungsverhältnissen eines individuellen, schematischen oder reducirten Auges ausgehen, so ergiebt sich, dass der zweite oder hintere Brennpunkt nur für solche Strahlen der Vereinigungspunkt sein kann, welche von einem unendlich entfernten Punkte kommen. Für Strahlen, welche von einem näher gelegenen leuchtenden Punkte kommen, muss, nach der Formel der conjugirten Brennpunkte, der Vereinigungspunkt der Strahlen im letzten Medium, oder der Bildpunkt hinter dem zweiten Brennpunkte liegen. Liegt nun in einem normalsichtigen (emmetropischen) Auge der Vereinigungspunkt für Strahlen, die von einem unendlich entfernten Punkte kommen, oder für parallele Strahlen, in der äussersten empfindenden Schicht der Netzhaut, so wird, da der Bildpunkt von einem näher

gelegenen leuchtenden Punkte hinter der Netzhaut liegen muss, ein Querschnitt des Strahlenkegels in der empfindenden Netzhautschicht liegen, und daher nicht ein Punkt, sondern eine kreisförmige Fläche auf der Netzhaut gebildet und empfunden werden. Von einem Objecte, welches aus einer Anzahl leuchtender Punkte besteht, wird also ein deutliches Bild nur entstehen können, wenn das Object sich in unendlicher Entfernung befindet; für nähere Objecte muss wegen der gegenseitigen Deckung der Kreisflächen ein undeutliches Bild entworfen werden. Soll aber der Bildpunkt eines näheren Objectes in die empfindende Netzhautschicht fallen, so muss entweder die empfindende Netzhautschicht sich von den Hauptpunkten oder dem Hornhautscheitel entfernen, oder die Brennweite der Augenmedien vermindert werden. Der letztere Fall ist der thatsächliche, und der Vorgang, durch welchen die Brennweite der Augenmedien verändert wird, heisst Accommodation des Auges.

Die Nothwendigkeit einer Accommodation des Auges ist schon von Scheiner (Oculus, 1619, p. 32—49) erwiesen worden: der sogenannte Scheiner'sche Versuch besteht darin, dass man dicht vor die Pupille des Auges einen Schirm mit zwei kleinen Löchern bringt und in der Richtung der Sehaxe in verschiedenen Entfernungen von dem Auge Objecte (Nadeln) anbringt: erscheint das eine der Objecte einfach, so erscheint das nähere oder das entferntere Object doppelt. Ist in Figur 26 F_2 der hintere Brennpunkt des Auges für die parallelen Strahlen ll,

Fig. 26.



so liegt der Bildpunkt b von dem näheren leuchtenden Punkte l' hinter Netzhaut. Von dem von l' ausgehenden Strahlenkegel gehen Strahlen durch die Löcher des Schirmes SS nach den Netzhautpunkten zz, afficiren also zwei differente Punkte der Netzhaut, woraus die Empfindung entsteht, als ob zwei Objecte da wären. Ist die Brechung der Medien aber von der Art, dass die Netzhaut sich in dem Vereinigungspunkte der von l' kommenden Strahlen befindet, so erscheint l' einfach, das Bild des unendlich entfernten Punktes, von dem die parallelen Strahlen ll kommen, wird aber in $z'z'$ entworfen, daher erscheint derselbe jetzt in Doppelbildern.

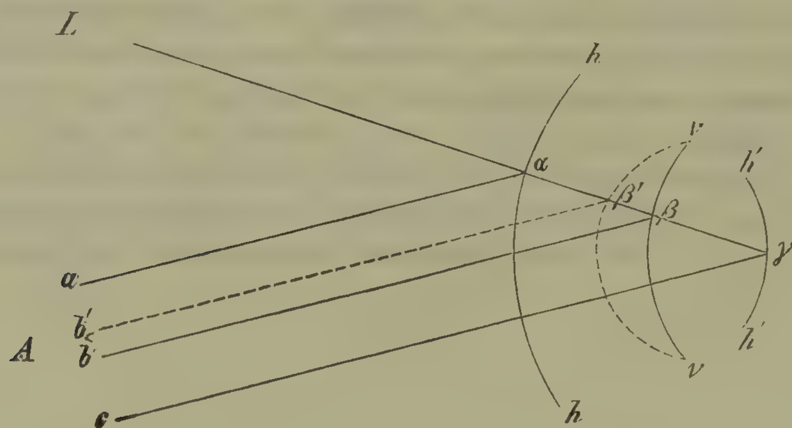
Der Vorgang, durch welchen die Brechung der Augenmedien so verändert wird, dass die Vereinigung der Lichtstrahlen, welche von verschieden entfernten Punkten kommen, immer in der empfindenden Netzhautschicht stattfindet, der Accommodationsvorgang beruht nun nach der Entdeckung von Langenbeck (Klinische Beiträge 1849), Donders-Cramer (Nederlansch Lancet 1849, p. 146 und

Tydschrift for Geneeskunde 1851, p. 115, Het Accommodatievermogen der Oogen, Haarlem 1853) und Helmholtz (A. f. O. I. 2, 1855, p. 1) auf einer Formveränderung der Linse, wobei namentlich die vordere Krümmungsfläche derselben convexer wird und der Scheitel sich dem Hornhautscheitel nähert, wenn das Auge für die Nähe accommodirt wird.

Der Nachweis, dass sich die vordere Linsenfläche bei der Accommodation für die Nähe stärker wölbt, ist geführt worden durch die Beobachtung, dass das von der vorderen Linsenfläche entworfene Spiegelbildchen seine Lage in Bezug auf das Reflexbildchen von der Hornhaut und von der hinteren Linsenfläche ändert und dass es kleiner wird, wenn man für die Nähe accommodirt.

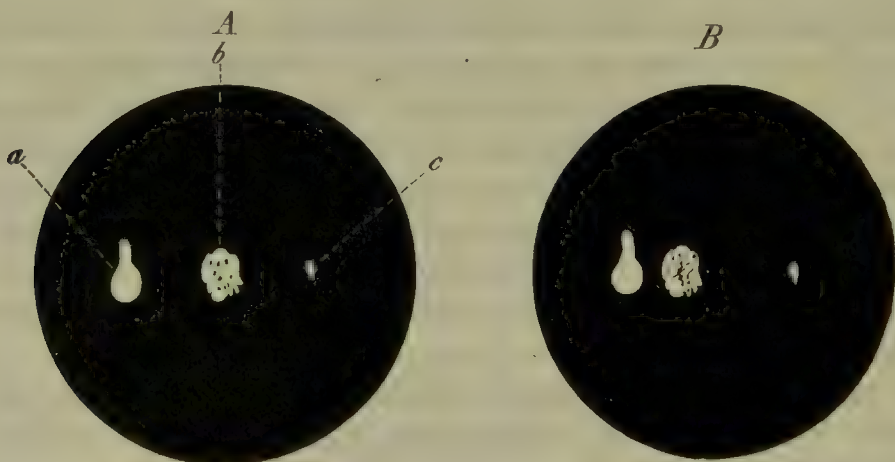
Befindet sich in L Figur 27 eine Lichtflamme, in A das mit einer Lupe oder einem Stubenfernrohr bewaffnete Auge des Beobachters und bedeutet hh den

Fig. 27.



Durchschnitt der Hornhaut, vv den Durchschnitt der vorderen, $h'h'$ den der hintereren Linsenfläche und sind α, β, γ die Spiegelbildchen der Flamme an den drei brechenden Flächen, so werden dieselben dem Auge A in der Lage a, b, c erscheinen. Wölbt sich nun die vordere Linsenfläche stärker, wie es die punktirte Linie zeigt, so wird das Spiegelbildchen von der vorderen Linsenfläche nach β' hin sich bewegen und näher nach a hin rücken, so dass es in b' erscheint.

Fig. 28.



Während also dem Beobachter die drei Reflexbilder des in die Ferne blickenden Auges so wie in Figur 28 A erscheinen (a das Cornealreflexbild, b das Reflex-

bild von der vorderen, *c* das Reflexbild von der hinteren Linsenfläche), haben sie beim Fixiren eines nahen Objectes die Lage wie in Figur 28 *B*. (Cf. III, 1 dieses Handbuches p. 220.)

Genauer lässt sich die Krümmungsveränderung der vorderen Linsenfläche bestimmen und messen mittelst der Helmholtz'schen Beobachtungsmethode, wie sie in § 8 beschrieben worden ist, und mittelst des Mikrooptometers, welches ebendaselbst besprochen worden ist. Alle Beobachtungen von Helmholtz und seinen Schülern Knapp, Woinow, Adamück, Mandelstamm, Schöler, Reich haben ergeben, dass bei der Accommodation für die Nähe bei emmetropischen, myopischen, presbyopischen und hypermetropischen Augen die vordere Linsenfläche sich ganz bedeutend stärker wölbt, zugleich aber auch die hintere Linsenfläche etwas convexer, die Linse also zugleich dicker wird.

Wir stellen in der folgenden Tabelle V. die Beobachtungen verschiedener Forscher zusammen, indem wir die Abnahme des Krümmungshalbmessers der vorderen, die des Krümmungshalbmessers der hinteren Linsenfläche und endlich die Dickenzunahme der Linse angeben.

Tabelle V.

Beobachter.		Der Radius der vorderen Linsenfläche nimmt ab in Mm.	Der Radius der hinteren Linsenfläche nimmt ab in Mm.	Zunahme der Linsendicke in Mm.
Helmholtz	II. . . .	3,3		
	III. . . .	2,9		
Knapp	V. . . .	2,376	0,697	0,558
	VI. . . .	3,060	0,533	0,554
	VII. . . .	3,053	1,292	0,684
	VIII. . . .	4,035	1,414	0,636
Adamück und Woinow (Presbyopen)	X. . . .	1,559	1,307	0,703
	XI. . . .	1,605	1,216	0,247
	XII. . . .	1,804	1,222	0,393
	XIII. . . .	1,742	0,904	0,556
Mandelstamm und Schöler (Myopie)	XIV. . . .	3,053	1,360	0,575
	XV. . . .	3,663	0,667	0,267
Reich (Myopie)	XVI. . . .	4,472	1,600	0,396
	XVII. . . .	3,183	0,955	0,456
	XVIII. . . .	2,992	1,025	0,562
Woinow (Hypermetr.)	XX. . . .	4,088	1,277	0,615

Es ist ausserdem übereinstimmend von allen Beobachtern gefunden worden, dass bei der Accommodation für die Nähe keine Veränderung in der Krümmung der Hornhaut eintritt, womit zugleich die Annahme einer Verlängerung der Sehaxe, eines Zurückweichens der Netzhaut von dem Corneascheitel sehr unwahrscheinlich wird. Nur darüber sind die Untersuchungen noch nicht abgeschlossen, ob bei der Accommodation eine Verschiebung des hinteren Linsenscheitels nach der Hornhaut hin stattfindet: jedenfalls ist dieselbe sehr gering und variabel (cf. Reich, A. f. O. XX. 1. p. 222).

Die Hauptfrage ist nun, ob die beobachteten Veränderungen der Linse die Brechung der Augenmedien so verändern, dass die von dem leuchtenden Punkte kommenden Strahlen immer in derselben Entfernung vom Hornhautscheitel, d. h. auf der Netzhaut vereinigt werden, mag der leuchtende Punkt ferner oder näher sein. Diese Frage ist von Knapp einer eingehenden Untersuchung unterworfen worden. (A. f. O. VI. 2. p. 42.)

Unter der Annahme, dass beim Fernsehen der hintere Brennpunkt in die Netzhaut fällt, rückt derselbe beim Nahesehen vor die Netzhaut, so dass nur Strahlen, die von einem näheren Punkte ausgehen, in der Netzhaut ihren hinteren Vereinigungspunkt finden. Ist nun bei den Messungen ein sehr oder ∞ entfernter Punkt das erste Mal, ein Punkt in gewisser geringer Entfernung das zweite Mal fixirt worden, so muss sich aus den Veränderungen der Brechungsmedien die Entfernung desjenigen Punktes vom Auge, welcher das zweite Mal fixirt worden ist, berechnen lassen. Es ist bekannt die erste und zweite Brennweite des nahesehenden Auges F_1 und F_2, so wie der Abstand der Netzhaut von der zweiten Hauptebene, welcher p_1 sein möge: die dazu gehörige vordere Vereinigungsweite p, d. h. der Abstand des fixirten Punktes von der ersten Hauptebene ist zu finden nach der Formel der conjugirten Brennpunkte 5) (§ 2)

$$\frac{F_1}{p} + \frac{F_2}{p_1} = 1$$

F_1 und F_2 sind zu berechnen nach § 11, p_1 wird gefunden, indem man den Cornealabstand des zweiten Hauptpunktes beim Nahesehen abzieht von dem Cornealabstande des zweiten Brennpunktes beim Fernesehen.

Aus der Formel findet sich

$$p = \frac{F_1 p_1}{p_1 - F_2}$$

Knapp fand nun in den vier von ihm untersuchten Augen für p sehr annähernd die Werthe, welche der fixirte Punkt beim Nahesehen gehabt hatte, nämlich

	V.	VI.	VII.	VIII.
nach den Messungen berechnet	168 Mm.	114 Mm.	105 Mm.	97 Mm.
wirklicher Abstand	107 Mm.	110 Mm.	115 Mm.	87 Mm.

Die Differenz bei V glaubt Knapp daraus erklären zu können, dass die betreffende Person nicht genau auf 107 Mm. (die Entfernung des Gesichtszeichens) accommodirt gewesen sei. Damit sind auch die Messungen von Woinow, Adamück und Woinow, Strawbridge, Mandelstamm und Schöler, Reich in Uebereinstimmung.

Wir sind demnach zu der Annahme berechtigt, dass die Accommodation des Auges für die Nähe lediglich auf der Formveränderung der Krystalllinse beruht.

Ein Auge ohne Linse (aphakisches Auge) werden wir demnach als völlig accommodationslos ansehen müssen — was Donders gegenüber Foerster's Untersuchungen aufrecht erhalten hat. (Cf. Donders, Anomalien der Refraction und Accommodation 1866, p. 266. — Foerster, Klinische Monatsblätter X, 1872, p. 39. — Donders, Ueber scheinbare Accommodation bei Aphakie, A. f. O. XIX. 1. p. 60.)

Indem wir wegen der Werthe zur Berechnung von p auf die Abhandlungen der angeführten Forscher verweisen, wollen wir nur für Auge V die Werthe von Knapp anführen. Die erste Brennweite des nahesehenden Auges beträgt 12,847 Mm. = F_1, die zweite 18,640 Mm.

$= F_2$, der zweite Brennpunkt des fernesehenden Auges liegt 21,180, der zweite Hauptpunkt des nahesehenden Auges 2,954 Mm. hinter dem Hornhautscheitel, p_1 ist also $= 21{,}180 - 2{,}954$ Mm. $= 18{,}586$ Mm. Daraus ist $p = 168$ Mm.

Wir fügen hier noch die Tabelle, welche Helmholtz für die optischen Constanten und die Cardinalpunkte seines schematischen Auges giebt, hinzu, in welcher sich zugleich die accommodativen Veränderungen derselben übersehen lassen. (Physiol. Optik p. 111.)

Tabelle VI.

	Accommodation für die Ferne	Accommodation für die Nähe
Hornhautradius	8,0	8,0
Radius der vorderen Linsenfläche	10,0	6,0
- - hinteren -	6,0	5,5
Ort des vorderen Linsenscheitels	3,6	3,2
- - hinteren -	7,2	7,2
Vordere Brennweite der Hornhaut	23,692	23,692
Hintere - - -	31,692	31,692
Brennweite der Linse	43,707	33,785
Abstand des vorderen Hauptpunktes der Linse von der vorderen Fläche	2,1073	1,9745
Abstand des hinteren Hauptpunktes von der hinteren Fläche	1,2644	1,8100
Abstand der beiden Hauptpunkte der Linse von einander	0,2283	0,2155
Hintere Brennweite des Auges	19,875	17,756
Vordere - - -	14,858	13,274
Ort des vorderen Brennpunktes	— 12,918	— 11,241
- - ersten Hauptpunktes	1,940	2,033
- - zweiten -	2,356	2,492
- - ersten Knotenpunktes	6,957	6,515
- - zweiten -	7,373	6,974
- - hinteren Brennpunktes	22,231	20,248

§ 14. Die Accommodationsbreite. Donders bezeichnet die Distanz zwischen dem fernsten Punkte, welcher deutlich gesehen werden kann, und dem nächsten Punkte, welcher deutlich gesehen werden kann, als das Accommodationsbereich des Auges und nennt den ersteren Punkt den Fernpunkt, den zweiten den Nahepunkt.

Denken wir uns ein accommodationsloses Auge, dessen Fernpunkt unendlich weit entfernt ist, welches also z. B. einen Fixstern ganz scharf sehen kann, so wird, wenn vor dasselbe eine Convexlinse von gewissem Brechungsvermögen gebracht wird, ein Punkt in unendlicher Entfernung nicht mehr deutlich gesehen werden können, wohl aber ein Punkt z. B. in 100 Mm. Entfernung von dem Auge. Wir werden nun die Accommodationsbreite des Auges einer Linse gleichsetzen können, welche den von dem Nahepunkte ausgehenden Strahlen eine solche Richtung giebt, als kämen sie von einem ∞ entfernten Punkte: Für eine

biconvexe Linse in Luft geht aber die Formel 5) für die conjugirten Punkte, da dann die erste Brennweite der zweiten Brennweite gleich ist, über in die einfachere Form $\frac{1}{f_{,}} + \frac{1}{f_{,,}} = \frac{1}{F_{,}}$ oder $\frac{1}{f_{,}} = \frac{1}{F_{,}} - \frac{1}{f_{,,}}$. Bezeichnen wir für unsern Fall die Brennweite der Linse mit A, die Distanz des Fernpunktes mit R und die Distanz des Nahepunktes mit P, so sollen die von dem Nahepunkte kommenden Strahlen so gebrochen werden, als kämen sie von einem unendlich entfernten Punkte. Dies wird der Fall sein, wenn der Focus der Linse mit dem Nahepunkte zusammenfällt. Wir können also auch die Accommodationsbreite $= \frac{1}{A}$ setzen, der Nahepunkt P ist dann, wenn der Fernpunkt $R = \infty$ ist, auch $= A$: soll also ein Auge von ∞ auf 100 Mm. sich accommodiren, so muss eine Linse von 100 Mm. Focus vor das Auge, oder eigentlich in den Knotenpunkt des Auges gebracht werden.

Setzen wir die Accommodationsbreite nach Donders $= \frac{1}{A}$, so ergiebt sich, wenn wir den Abstand des Fernpunktes $= R$, den des Nahepunktes $= P$ setzen, die Relation

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R} \quad \ldots\ldots \quad \alpha)$$

Liegt der Fernpunkt R unendlich entfernt, so wird $\frac{1}{A} = \frac{1}{P}$, und findet sich P in 100 Mm. Entfernung von dem Auge, so würde die Accommodationsbreite durch den Bruch $= \frac{1}{100}$ Mm. auszudrücken sein. Da es aber hergebracht ist, die Brennweite der Linsen nicht nach Millimetern, sondern nach Pariser oder Rheinländischen Zollen zu bestimmen (1 Pariser Zoll = 27 Mm., 1 Rheinländischer Zoll = 26,15 Mm.), so würde, wenn von ∞ bis auf 4 Zoll accommodirt werden kann, die Accommodationsbreite $= \frac{1}{4}$ zu setzen sein*).

Diese Accommodationsbreite findet man in normalen oder emmetropischen Augen. Sie ändert sich zunächst mit dem Alter: Leute von über 50 Jahren z. B. können meist nur noch Punkte in 12 Zoll Entfernung deutlich sehen, während $R = \infty$ geblieben ist, ihre Accommodationsbreite würde also ausgedrückt sein durch $\frac{1}{12}$. Ein solches Auge ist ein presbyopisches: aus Adamück und Woinow's ophthalmometrischen Bestimmungen geht hervor, dass bei solchen Augen die Formveränderung der Linse nicht so bedeutend ist, wie bei emmetropischen Augen (s. § 13 Tabelle V). Augen, bei denen der Fernpunkt nicht in ∞ Entfernung liegt, sondern näher, heissen myopische oder kurzsichtige: ihre Accommodationsbreite kann ebenso gross, wie die des emmetropischen Auges sein: z. B. bei $R = 12$ $P = 3$ würde $\frac{1}{A} = \frac{1}{3} - \frac{1}{12} = \frac{1}{4}$. Endlich giebt es Augen, bei denen der Fernpunkt weiter als ∞ entfernt liegt, d. h. welche ohne Accommodation nur convergirende Strahlen auf der Netzhaut zur Vereinigung bringen, also sehr ferne Objecte ohne Accommodation nur bei Anwendung von Convexlinsen deutlich sehen, mittelst Accommodation aber Objecte in ziemlicher Nähe: so kann z. B. bei Ausschluss der Accommodation ein Convexglas von

*) Wegen der Benutzung des Metermaasses und der Annahme einer Meterlinse als Einheit muss ich auf den Aufsatz von Professor Nagel (Klinische Monatsblätter 1874, p. 362) und auf dessen Bearbeitung der Accommodations- und Refractionsanomalien (Cap. X dieses Handbuches) verweisen.

8 Zoll Focus zum deutlichen Sehen in grösste Ferne erforderlich sein, R also $= -\frac{1}{8}$ werden, mit Accommodation aber Punkte in 8 Zoll Entfernung deutlich sehen: die Accommodationsbreite ist dann $\frac{1}{A} = \frac{1}{8} - \left(-\frac{1}{8}\right) = \frac{1}{4}$. (cf. DONDERS, Anomalien, p. 79.)

Die aphakischen Augen haben eigentlich keine Accommodationsbreite, da ihnen das Accommodationsorgan fehlt: sie sind hypermetropisch, insofern sich nur Strahlen, welche convergirend die Hornhaut treffen, auf der Netzhaut vereinigen können: es ist für ein solches Auge also zunächst eine Convexlinse zu ermitteln, welche ein Sehen in grösste Ferne möglich macht: sei dies eine Linse von 3 Zoll Focus. Bei einer Linse von so starkem Brechungsvermögen kommt nun sehr in Betracht die Verrückung des Hauptpunktes des Auges und damit des Brennpunktes. Liegt der Hauptpunkt eines aphakischen Auges im Scheitelpunkte der Hornhaut, der (mittlere) Hauptpunkt der Linse $1/2$ Zoll vor dem Hornhautscheitel, so muss der gemeinschaftliche Hauptpunkt des ganzen Systems (Auge + Linse) weiter nach vorn rücken nach den Formeln 12) (§ 2), und er wird noch weiter nach vorn rücken müssen, wenn sich die Linse 1 Zoll vor der Hornhaut befindet, ja wenn sie sich 3 Zoll vor dem Auge befände, so würde der Brennpunkt der Linse in den Hornhautscheitel fallen.

Ist z. B. P die Entfernung des Nahepunktes, F der Focus der Linse, x die Entfernung vom Hornhautscheitel im ersten Falle und $x + x'$ im zweiten Falle, so muss sich die Entfernung von P vermindern im zweiten Falle. Denn im ersten Falle ist $\frac{1}{P} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F+x}$ also $P = \frac{F \cdot (F+x)}{x}$

Im zweiten Falle ist

$$\frac{1}{P_2} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F+x+x'} \text{ also } P_2 = \frac{F \cdot (F+x+x')}{x+x'} \quad \ldots \quad \beta)$$

Ist also $F = 3$ Zoll, $x = x' = \frac{1}{2}$ Zoll, so findet sich $P = 21$ Zoll, $P_2 = 12$ Zoll. Das heisst: durch Verschieben der Linse vor dem Auge um $\frac{1}{2}$ Zoll kann der Aphakische von 21 Zoll auf 12 gewissermassen accommodiren, oder eine Accommodationsbreite von $\frac{1}{28}$ ersetzen.

Eine ähnliche Correctur, wie bei Linsen für aphakische Augen (Staarbrillen), ist auch erforderlich für alle anderen Hülfslinsen oder Brillen, indess kommt sie bei schwächeren Linsen weniger in Betracht. (cf. DONDERS, A. f. O. I. p. 172, Anomalien der Refraction, p. 121 u. p. 263.)

§ 15. Mechanismus der Accommodation. Der Mechanismus, durch welchen die stärkere Wölbung der Krystalllinse an ihrer vorderen und in geringerem Grade auch an ihrer hinteren Wölbung zu Stande kommt, ist noch nicht vollkommen klar. Im Wesentlichen ist die Hypothese von HELMHOLTZ durch die späteren Untersuchungen bestätigt worden. Nach HELMHOLTZ wird im ruhenden Zustande beim Sehen in die Ferne die Linse durch die an ihrem Rande befestigte *Zonula Zinnii (Zonula ciliaris)* gespannt erhalten, dadurch ihr Aequatorialdurchmesser vergrössert, ihre Axe aber verkürzt — wenn dagegen bei der Accommodation für die Nähe der Zug der *Zonula Zinnii* nachlässt, so wird vermöge ihrer Elasti-

cität die Aequatorialfläche der Linse kleiner, die Axe derselben grösser werden. (Helmholtz, Phys. Optik p. 110.) Die Abspannung der Zonula würde aber bewirkt werden durch die Zusammenziehung der Radial- und Circulärfasern des Ciliarmuskels.

Es würde also die Accommodation für die Ferne dem Ruhezustande des Auges entsprechen, wie wir schon in den vorhergehenden Paragraphen angenommen haben, die Accommodation für die Nähe würde der active, durch Muskelkräfte hergestellte Vorgang sein. Dafür spricht 1) dass bei der Accommodation für die Nähe das Gefühl einer Anstrengung sich bemerkbar macht und sehr deutlich hervortritt, wenn längere Zeit für eine sehr grosse Nähe, für den Nahepunkt, accommodirt wird — während das Gefühl der Anstrengung sofort aufhört, wenn man für die Ferne accommodirt. — Beweisend ist diese Beobachtung nicht, weil mit der Accommodation für die Nähe eine entsprechende Convergenz des Auges verbunden ist, welche für sich genügt, das Gefühl der Anstrengung hervorzurufen. 2) Wenn man für die Nähe accommodirt, so dauert es länger, bis man den Nahepunkt scharf sieht, als es dauert, bis man das Auge wieder auf den Fernpunkt eingestellt hat. Vierordt (Archiv für physiologische Heilkunde 1857, Neue Folge I. p. 17) fand die Zeit für die Accommodation von Fern auf Nah constant erheblich grösser, als von Nah auf Fern, im Mittel aus den sehr zahlreichen Versuchen im Verhältniss von 135 zu 100 — wurde von einem 18 Meter entfernten Objecte auf ein 100 Mm. entferntes Object accommodirt, so waren bei Vierordt 1,18 Secunden, bei Accommodation in umgekehrter Richtung nur 0,84 Secunden erforderlich. Ebenso hat Aeby (Zeitschrift für rationelle Medicin 1861, Neue Folge XI. p. 300) für die Accommodation von 430 Mm. auf 115 Mm. erforderlich gefunden eine Zeit von beinahe 2 Secunden, in umgekehrter Richtung 1,2 Secunden. 3) Von Hensen und Völckers (Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Accommodation, Kiel 1868) ist bei Versuchen an Hunden und später auch an Katzen, einem Affen und an einem menschlichen Bulbus unmittelbar nach der Enucleation (A. f. O. XIX. 1. p. 156) der directe Nachweis geführt worden, dass bei Reizung des *Ganglion ciliare* die vordere Linsenfläche convexer wird, der Ciliarmuskel sich zusammenzieht und die Chorioidea durch ihn nach vorn gezogen wird — auch dass nach dem Aufhören der Reizung der vordere Linsenscheitel wieder nach hinten zurückgeht und zwar stets rascher, als er nach vorwärts geht (p. 30). Hensen und Völckers bezeichnen denn auch mit »Accommodation« nur die Einstellung für die Nähe, und sehen die Einstellung in die Ferne als ein Zurückgehen in die Ruhelage vermöge der Elasticität der Linse und ihrer Fasern an. 4) Wenn bei Oculomotoriuslähmung des Menschen das Accommodationsvermögen total verloren gegangen ist, so ist nach Donders (Anomalien, p. 19) das Auge auf den Fernpunkt eingestellt und durch Einträufeln von Atropin wird in dem Refractionszustande nichts geändert. 5) Die grössere Dicke von todten Linsen, die von ihrer Verbindung mit der Zonula gelöst sind, so wie die stärkere Krümmung derselben (§ 8 und § 9) können auch für diese Annahme angeführt werden, um so mehr, da Arlt an todten Linsen, welche in ihrer Verbindung mit der Zonula geblieben waren, eine geringere Dicke angiebt (Arlt, A. f. O. III. 2. p. 96: $1^1/_5$ Wiener Linie = 3,95 Mm.).

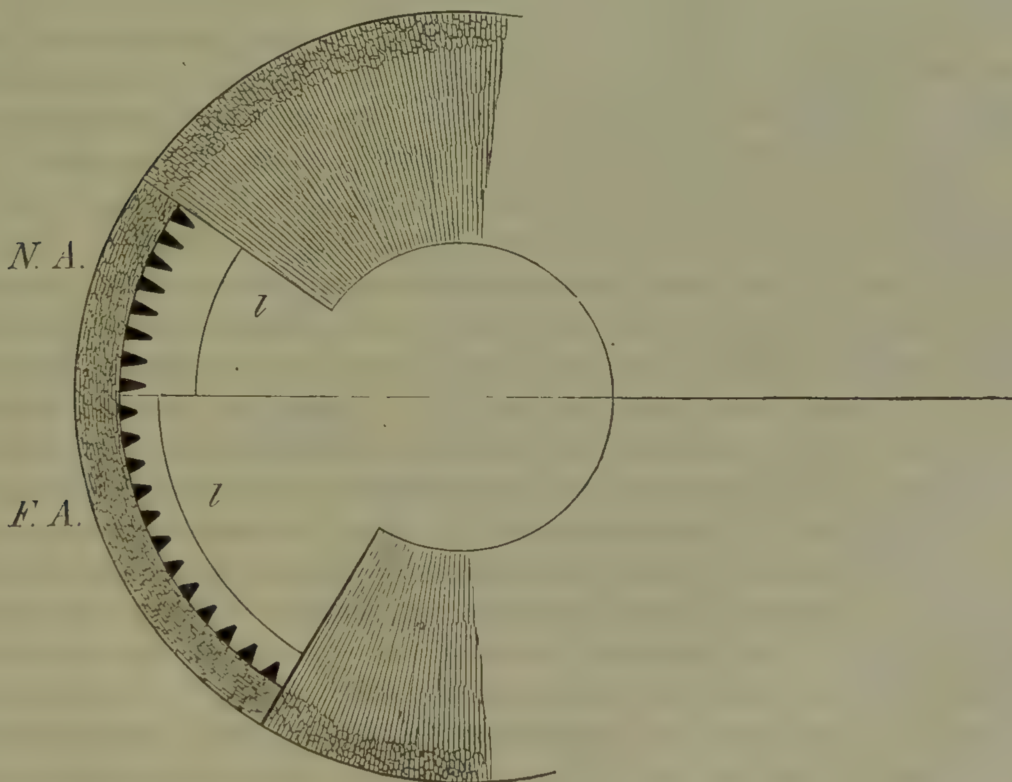
Wenn nun eine Abspannung der Zonula bei der Accommodation angenommen werden muss, so wird eine solche sehr wohl zu Stande kommen können durch

Contraction der Radial- und Circulärfasern des Ciliarmuskels. Die circulären Fasern desselben werden eine Verengerung des Ringes, den er bildet, bewirken müssen, wenn ein irgend dehnbares Gewebe sie umgiebt, als welches sich das Gewebe der Ciliarfortsätze erweist (s. Figur 2 Capitel III. Bd. I. 1. p. 270 dieses Handbuches); und wenn ferner nach HENSEN und VÖLCKERS' Beobachtungen die Chorioidea durch die Radialfasern dieses Muskels nach vorn gezogen wird, so wird daraus auch wieder eine Abspannung der Ciliarfortsätze und damit der Zonula resultiren.

Wenn wir nun damit die Rolle des Ciliarmuskels bei der Accommodation als erklärt ansehen wollen, so ist doch noch unklar die Betheiligung der Ciliarfortsätze an derselben. L. FICK (Müller's Archiv 1853, p. 456) hat an den Augen weisser Kaninchen Bewegungen der Ciliarfortsätze bei directer Reizung eintreten sehen, nachdem er die Hornhaut weggeschnitten und die Iris zurückgeschlagen hatte. Dasselbe haben HENSEN und VÖLCKERS (l. c. p. 37) am Hunde gesehen — ohne etwas daraus für die Vorgänge bei der Accommodation zu schliessen.

Die Beobachtungen über die Bewegungen der Ciliarfortsätze beim menschlichen Auge widersprechen einander: BECKER (in DONDERS, Anomalien 1866, p. 25 und Wiener Med. Jahrbücher 1863 u. 1864) sah an albinotischen Augen eine Entfernung der Ciliarfortsätze von der Sehaxe eintreten bei Accommodation für die Nähe, bei Accommodation für die Ferne und nach Atropineinträufelung aber ein Vorrücken der Ciliarfortsätze nach der Sehaxe hin — er beobachtete ausserdem, dass die Ciliarfortsätze niemals die Linse berühren, ein Druck derselben auf die Linse daher niemals stattfinden kann. — COCCIUS dagegen (Der Mechanismus

Fig. 29.



der Accommodation des menschlichen Auges, Leipzig 1868) hat an Iridektomirten gerade das Gegentheil beobachtet, dass nämlich bei der Accommodation für die Nähe die Ciliarfortsätze sämmtlich nach vorn zu treten und hierbei etwas an-

schwellen, beim Sehen in die Ferne aber wieder zurückgehen und kleiner werden, auch nach Atropinwirkung auffallend zurückgezogen erscheinen. Coccius' Abbildung Figg. I und II zeigen diese Verhältnisse: wir geben seine erste Zeichnung in Figur 29 wieder, wo *N. A.* die Nähestellung, *F. A.* die Fernestellung, *ll* den Linsenrand bedeutet. Coccius hat mittelst seiner Beobachtungsmethode auch die *Zonula Zinnii* als grauweisse Membran beobachten können, welche zwischen hellweissen radiirten Bändern ebenso regelmässig gestellte dunkle Bänder hat: bei Accommodation für die Ferne erscheinen diese Bänder kurz, bei Accommodation für die Nähe werden sie länger und erscheinen auch deutlich breiter. Gegen Becker, welcher die Veränderung der Ciliarfortsätze mit hämostatischen Veränderungen in Zusammenhang bringt, statuirt Coccius nur eine Muskelwirkung, also Bewegung in Folge der Contraction oder Erschlaffung des Ciliarmuskels (p. 21).

Die Beobachtungsmethode von Coccius besteht im Wesentlichen darin, dass mittelst eines kleinen 16 Mal vergrössernden Mikroskops die iridektomirte Stelle beobachtet und dabei mittelst eines an dem Objectiv befestigten Concavspiegels das von einer Schiebelampe kommende Licht auf den zu beobachtenden Theil geworfen wird. Der Beobachtete hat auf Objecte, die in verschiedener Entfernung aufgestellt sind, zu accommodiren. Das Nähere, sowie zwei andere Methoden s. bei Coccius p. 8 u. f.

Coccius' Beobachtungen harmoniren mit den Beobachtungen und Schlüssen von Hensen und Völckers — indess müssen wir auf einen Widerspruch von Coccius' Beobachtungen mit denen von Vierordt und Aeby aufmerksam machen, indem Coccius angiebt, »dass die Linse eine längere Zeit der Bewegung zum Zustande ihrer vollkommen erreichten Ruhe braucht, als bei der Bewegung für ein nahes Object« (p. 152).

Ueber die Nerven, welche den Accommodationsvorgang beherrschen, ist nun durch die Untersuchungen von Hensen und Völckers unzweifelhaft festgestellt, dass durch Reizung des *Ganglion ciliare* und der Ciliarnerven die Vorgänge der Accommodation für die Nähe, also eine Zusammenziehung des *Musculus ciliaris* hervorgebracht wird. Es macht keinen Unterschied, ob das Ganglion oder ein einzelner Ciliarnerv beim Hunde gereizt wird. Hensen und Völckers' Untersuchungen gelten für Hund, Katze, Affe und Mensch.

Die weiteren Bahnen der Accommodationsnerven sind bis jetzt ganz unbekannt. Trautvetter's Versuche (A. f. O. XII. 1. p. 96) haben in Bezug auf Hunde zu keinem Resultate geführt, ob im *N. oculomotorius*, *trigeminus* oder *sympathicus* die Accommodationsfasern verlaufen — dagegen hat derselbe gefunden, dass bei Tauben der *N. oculomotorius* der Accommodationsnerv ist. Die negativen Ergebnisse, die Trautvetter bei Hunden erhielt, verbieten eine Generalisirung dieses Befundes, indess spricht die oben erwähnte Bemerkung von Donders über die Coincidenz von Oculomotorius-Lähmung mit Accommodations-Lähmung dafür, dass auch beim Menschen der Oculomotorius die Accommodationsfasern enthält. Auch Alfred Gräfe hat einen solchen Fall beschrieben (Klinische Motilitätsstörungen des Auges, Berlin 1858, p. 152). — In einem Fall von v. Gräfe war allerdings bei Oculomotorius-Lähmung keine Accommodationsparalyse vorhanden, es waren in diesem Falle sogar sämmtliche Augenmuskelnerven gelähmt (A. f. O. II. 2, p. 301).

Bei dem innigen Connex zwischen Convergenz der Augenaxen und Accommodation für die Nähe muss gleichwohl ein Centralorgan für beiderlei Innervationen

angenommen werden — indess ist kein solches bis jetzt nachgewiesen, auch Adamück lässt es bei seinen später zu besprechenden Versuchen (s. Association der Augenbewegungen § 76) dahingestellt, ob mit der Verengung der Pupille Accommodation eingetreten ist. (Med. Centralblatt 1870, p. 66.)

Die Bewegungen der Iris stehen in keinem directen Zusammenhange mit den Accommodationsbewegungen, sondern sind denselben nur associirt, allerdings mit einem auffallenden Zwange.

§ 16. Die Irisbewegungen. Die Iris hat als das einzige Diaphragma des brechenden Systems der Augenmedien einen sehr wesentlichen Einfluss auf den Gang der Lichtstrahlen: von der Weite der Pupille ist abhängig die Menge der Lichtstrahlen, welche in das Auge gelangen, indem die Pupille die Basis des Lichtkegels im Auge darstellt. Die Weite der Pupille ist daher massgebend 1) für die Intensität des zur Netzhaut gelangenden Lichtes, 2) für die Schärfe des auf der Netzhaut entworfenen Bildes oder die Genauigkeit, mit welcher die von einem Punkte ausgehenden Lichtstrahlen sich wieder in einem Punkte vereinigen.

Die Weite der Pupille ist individuell sehr verschieden: bei den ophthalmometrischen Messungen, also unter sehr ähnlichen äusseren Bedingungen ist der Pupillardiameter bei Accommodationsruhe zwischen 2,455 und 5,82 Mm. gefunden worden (Woinow, Ophthalmometrie p. 84). Bei jüngeren Individuen ist unter sonst gleichen Umständen die Pupille weiter, als bei alten Individuen; brünnette Individuen mit stark pigmentirter Iris haben eine weitere Pupille, als blonde Individuen mit blauer Iris.

Eine Verengung der Pupille tritt ein 1) durch Lichtreize, welche die Netzhaut treffen, und zwar um so stärker, je intensiver das Licht ist, je grösser die getroffene Netzhautfläche ist und je näher der *Fovea centralis* oder dem Gesichtspunkte (Kernstelle) der Lichtreiz liegt. Wir finden ausserdem, dass beim Menschen ein Connex der beiden Netzhäute in Bezug auf die Pupillenweite stattfindet: wird nur eine Netzhaut vom Licht afficirt, so ziehen sich beide Pupillen zusammen, so dass unter normalen Verhältnissen beide Pupillen immer gleich weit sind. Beobachtet man z. B. bei einem auf den hellen Himmel oder eine helle Flamme blickenden Menschen das rechte Auge und verdeckt abwechselnd das linke Auge gegen das Licht, so tritt bei Verdeckung des linken Auges stets eine gleich grosse Erweiterung, bei Erhellung eine gleich grosse Verengung der Pupillen auf beiden Augen ein. (Nach Brewster, Das Stereoskop, 1857, p. 49, bereits von Baco beobachtet.) — Am stärksten ist ferner die Verengung der Pupille, wenn das leuchtende Object fixirt wird: fällt dagegen das Licht auf mehr peripherische Zonen der Netzhaut, so ist der Einfluss auf die Pupillenverengung im Ganzen um so geringer, je weiter die Zonen von dem Gesichtspunkte der Netzhaut entfernt sind — indess ist ein bestimmtes Verhältniss nicht nachgewiesen, nur ist, wenn das Licht nicht auf den Gesichtspunkt fällt, die Abnahme der Pupillenverengung am stärksten. (E. H. Weber, Annotationes anatomicae et physiologicae. Fasc. III. De motu iridis. Lipsiae 1851, p. 87.) — Dass weiter die Grösse der Fläche auf der Netzhaut, welche von dem Lichte afficirt wird, massgebend ist für die Weite der Pupille, ist schon von Lambert (Photometria 1760. p. 379 u. f.) gezeigt worden.

Lambert verfuhr dabei so, dass er durch eine Oeffnung in einem finstern

Zimmer nach dem hellen Himmel blickte und wenn seine Pupille die dieser Lichtintensität entsprechende Weite erlangt haben mochte, rasch das Auge nach einem Spiegel wandte und den Durchmesser der Pupille mittelst eines Cirkels mass. Er fand, dass je mehr er sich von der Oeffnung für das Licht entfernte, seine Pupille um so weiter wurde. Folgendes sind die von Lambert gefundenen Zahlen (p. 381):

Tabelle VII.

Entfernung in Fuss von der Lichtquelle.	Gesichtswinkel der Oeffnung.	Durchmesser der Pupille in Linien.
1	8° 36′	1,13 (= 2,4 Mm.)
2	4° 20′	1,44
3	2° 53′	1,70
4	2° 10′	1,93
5	1° 44′	2,15
6	1° 26′	2,36
7	1° 14′	2,56
8	1° 5′	2,75
9	58′	2,93
10	52′	3,10 (= 6,8 Mm.)

Die Methode der Untersuchung ist nicht tadellos, aber es sind dies die einzigen Messungen.

Die Lichtintensität muss bei der stärkeren Beleuchtung in Folge der Pupillenverengung sehr bedeutend abnehmen: denn wenn die Pupille die Basis des Strahlenkegels ist, dessen Spitze auf die Netzhaut fällt, so hat bei grösster Lichtintensität (grösstem Gesichtswinkel der Oeffnung) der Lichtkegel eine Basis von 4,5 □Mm., bei geringster Intensität eine Basis von 36,3 □Mm. Es wird also mit zunehmender Intensität des Lichtes ein immer grösserer Theil des einfallenden Lichtes abgeblendet, als bei weit bleibender Pupille einfallen würde, bei Lambert etwa $^7/_8$ des einfallenden Lichtes. Es wird daraus das sehr intensive Gefühl von Blendung erklärlich, welches man empfindet, wenn die Pupille durch Atropin unveränderlich gemacht worden ist.

Während die Iris in diesem Falle, nämlich wenn die Axe des Lichtkegels mit der Gesichtslinie zusammenfällt, als lichtabblendender Schirm wirkt, ist die Verengung um so geringer, je grösser der Winkel wird, welchen die Axe des Kegels mit der Gesichtslinie bildet: die Menge des einfallenden Lichtes wird dann aber auch eine immer geringere auch bei gleichbleibender Pupillenweite, denn die Grundfläche des Kegels wird um so kleiner, je schiefer der Kegel wird. Dadurch, dass die Pupille sich weniger verengt, wird vielleicht eine Compensation bewirkt; indess fehlen bis jetzt Messungen über diese Verhältnisse. (cf. Förster, Hemeralopie p. 32, Aubert, Moleschott's Untersuchungen IV. p. 222 und Physiol. der Netzhaut p. 90.) Die Behauptung Dubrunfaut's (Comptes rend. XLI. p. 1008), dass, wenn man eine weisse Fläche auf dunklem Grunde das eine Mal mit einem Auge, das zweite Mal mit beiden Augen ansehe, die Durchmesser der Pupille sich verhielten wie $\sqrt{2}$ zu $\sqrt{1}$, ist als unerwiesen anzusehen (s. Fechner, Ueber die Verhältnisse des binocularen Sehens in Leipziger Abhandlungen VII. 1860, p. 425).

Die Pupille wird enger 2) bei der Accommodation für die Nähe und Con-

vergenz der Augenaxen, wie schon Scheiner (Fundamentum opticum 1619, Lib. I. pars 2) gezeigt hat. Und zwar verengt sich nach Weber (l. c. p. 92) die Pupille nicht, wenn ohne Convergenz der Sehaxen für die Nähe accommodirt wird, verengt sich dagegen, wenn die Sehaxen ohne Accommodationsänderung convergiren. Es ist also wesentlich die Convergenz der Sehaxen, an welche die Verengung der Pupille gebunden ist; ohne besondere Einübung auf das Gegentheil sind aber immer Convergenz der Sehaxen, Accommodation für die Entfernung, in welcher sich die Sehaxen schneiden und Verengung der Pupille mit einander associirt.

Ueber die Verengung der Pupille bei Convergenz der Sehaxen hat Olbers (De mutationibus oculi internis. Diss. inaug. Göttingen 1780, p. 11—12) eine Reihe von Messungen angestellt, in ähnlicher Weise wie Lambert, aber mit der Verbesserung, dass er seine Pupille in einem Spiegel, welcher in verschiedene Entfernungen gebracht wurde, beobachtete und mit einem dicht vor die Hornhaut gehaltenen Cirkel die Weite der Pupille mass. Er fand folgende Zahlen:

Tabelle VIII.

Entfernung des Objects.	Durchmesser der Pupille in Mm.	
108 Mm.	4,04	
		+ 0,89
216 -	4,93	
		+ 0,38
324 -	5,31	
		+ 0,31
432 -	5,62	
		+ 0,27
540 -	5,89	
		+ 0,18
648 -	6,07	
		+ 0,11
756 -	6,16	

Die Zunahme der Erweiterung ist bei der Entfernung des Objectes von 108 auf 216 Mm. viel bedeutender, als bei der Entfernung von 648 auf 756 Mm., entsprechend der Vergrösserung des Convergenzwinkels der Sehaxen, nicht der Zunahme der Entfernung. Eine genauere Methode zur Bestimmung der Pupillenweite hat Stampfer (Wiener Akademie-Berichte VIII. p. 511) angegeben. Am genauesten ist jedenfalls die ophthalmometrische Methode.

Bei keiner anderen Augenbewegung findet eine Mitbewegung der Iris statt, ausser bei der Convergenzbewegung und es ist dabei auch gleich, ob die Convergenz bei unbewegtem einen Auge, oder bei Seitenwendungen der beiden Augen u. s. w. stattfindet: massgebend für die Verengung der Pupille ist nur der Convergenzwinkel der Sehaxen.

Eine dauernde maximale Erweiterung der Pupille wird ferner herbeigeführt durch verschiedene Gifte, namentlich Atropin und Hyoscyamin; von dem Extracte der Calabarbohne dagegen wird eine andauernde Verengung der Pupille bewirkt. Zugleich wird mit der Unbeweglichkeit der Iris auch Accommodationsunfähigkeit hervorgebracht. Ueber die Atropin-Wirkung s. Weber l. c. p. 97, über die Calabar-Wirkung s. v. Gräfe im A. f. O. IX, 4. p. 87.

Die Verengung der Pupille wird durch die in der Iris enthaltenen circulären Muskelfasern, *Sphincter pupillae*, hervorgebracht — die Erweiterung der Pupille

wird wahrscheinlich durch radiär verlaufende Muskelfasern, den *Dilatator pupillae*, bewirkt (s. I. 3, p. 283 dieses Handbuches), indess stellt Grünhagen neuerdings (Pflüger's Archiv für Physiologie 1875, X. p. 172), indem er consequent das Vorhandensein radialer Muskelfasern leugnet, eine Bewegung der herausgeschnittenen Iris in diesem Sinne einer Dilatatorwirkung in Abrede und behauptet, dass die Erweiterung der Pupille auf der Zusammenziehung der Ciliarportion der Iris, Elasticität des Irisgewebes und Erschlaffung der Pupillarportion beruhe. Mag man übrigens die Existenz von radiären Muskelfasern in der Iris annehmen, oder nicht, so sind physiologische Thatsachen, welche die Wirkung der Radialfasern nachweisen, bis jetzt nicht bekannt — die grössere Einfachheit der Erklärung kann nicht als Beweis gelten.

Die Bewegungen der Iris stehen unter dem Einflusse des *N. oculomotorius*, *N. trigeminus* und *N. sympathicus;* Reizung der ersteren bewirkt Verengung, Reizung des Sympathicus Erweiterung der Pupille. — Man findet zunächst, dass Reizung der Ciliarnerven und des Ciliarganglions Verengung der Pupille bewirkt (Hensen und Völckers l. c. p. 16) und zwar, dass Reizung eines einzelnen Ciliarnerven partielle Contraction des Sphincter der Iris auf der Seite des Nerven bewirkt, so dass die Pupille birnförmig verzogen erscheint.

Weiter hat Valentin (De functionibus nervorum cerebralium et nervi sympathici. Bern 1839, p. 18) zuerst beobachtet, dass Durchschneidung des *N. oculomotorius* heftige Verengung der Pupille bei Kaninchen bewirkt — Budge (Ueber die Bewegung der Iris 1855, p. 83) und Trautvetter (A. f. O. XII. 1, p. 121) haben an Kaninchen, Hunden und Katzen nachgewiesen, dass Reizung des Oculomotorius immer bedeutende Verengung der Pupille hervorruft, eine Verminderung des Pupillendurchmessers auf mehr als die Hälfte. In v. Gräfe's Fall von Lähmung aller Augenmuskeln (A. f. O. II. 2, p. 302) war auch die Bewegung der Iris bei Lichtreizungen der Netzhaut vollkommen ausgeschlossen, dagegen die Bewegung der Iris bei Accommodation für die Nähe und Ferne vollkommen erhalten. Es muss daraus geschlossen werden, dass beim Menschen der Oculomotorius nicht der einzige pupillenverengende Nerv sein kann; und wir werden sogleich sehen, dass auch bei Thieren noch ein zweiter Verengungsnerv nachgewiesen ist.

Magendie (Journal de Physiologie 1824, T. IV. p. 176) hat schon beobachtet, dass nach der Durchschneidung des Trigeminus im Schädel die Pupille sehr stark zusammengezogen ist bei Kaninchen, während es nach Longet (Anatomie et Physiologie du Système nerveux 1842, T. II. p. 100) bei Katzen und Hunden nicht der Fall ist. Budge (Bewegung der Iris p. 99) findet die Verengung sehr langsam eintretend nach der Trigeminusdurchschneidung bei Kaninchen und erst nach etwa einer halben Stunde aufhörend. — Trautvetter sah bei Reizung des *Ram. ophthalm.* manchmal eine Verengung, manchmal eine Erweiterung der Pupille eintreten und hält seine Versuche nicht für fehlerfrei (A. f. O. XII. 1, p. 132): bei einer Katze sah er Erweiterung, bei einem Hunde bedeutende Verengung eintreten. Endlich giebt Grünhagen (Pflüger's Archiv für Physiologie X. 1875, p. 172) an, dass der Einfluss des Trigeminus auf die Pupillenverengung nicht aufgehoben würde durch Atropin, was bei der Verengung durch den Oculomotorius geschähe.

Es sind also für die Iris zweierlei Nerven anzunehmen, welche

die Pupille zur Verengung bringen, wenn sie gereizt werden, in erster Linie Fasern des Oculomotorius, in zweiter Linie Fasern des Augenastes vom Trigeminus.

Der *N. sympathicus* ist nach allgemeinem Einverständniss der pupillenerweiternde Nerv. HENSEN und VÖLCKERS (l. c. p. 15) haben aber gefunden, dass auch nach Abtrennung des *Ganglion ciliare* von seinen Wurzeln die Reizung des Halssympathicus beim Hunde (es ist nicht gesagt, ob Reizung des isolirten Halssympathicus, oder des ganzen Vagosympathicus) Erweiterung der Pupille *ad maximum* hervorbringt, dass also dieser Nerv ohne das Ganglion zu durchsetzen, zur Iris gelangt.

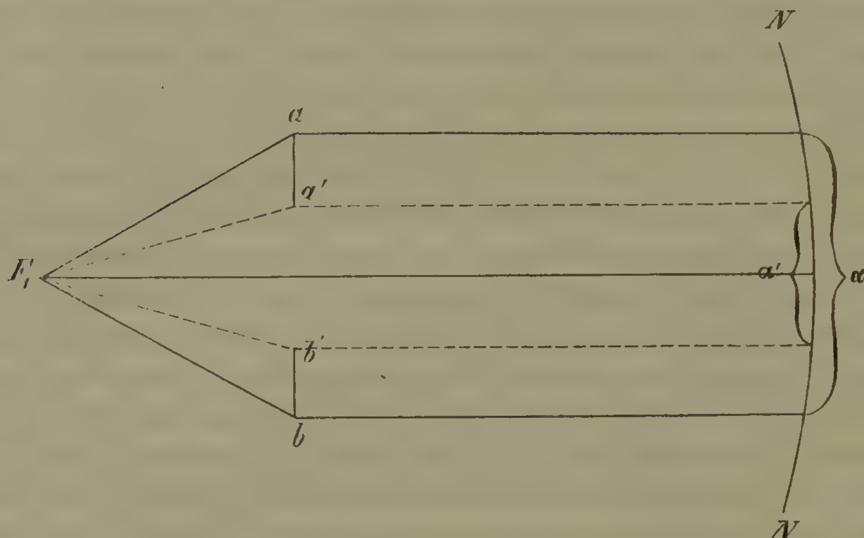
Es lassen sich nun ausserdem noch Centralorgane des Gehirns nachweisen, deren Reizung Verengung der Pupille bewirkt. Schon FLOURENS (Recherches experimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux 1842, p. 144) hat nachgewiesen, dass Reizung der Vierhügel Verengung der Pupillen bewirkt und diese Beobachtungen sind von LONGET (l. c. T. 1. p. 477), BUDGE (l. c. p. 130) und in neuester Zeit von ADAMÜCK (Onderzoekingen gedaan in het Physiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool Tweede Reeks III. p. 110 und Med. Centralblatt 1870, p. 66) bestätigt worden. Da einerseits die Zerstörung der Vierhügel Erblindung der Thiere zur Folge hat (FLOURENS), andererseits Reizung der Vierhügel Augenbewegungen und Pupillenverengung auslöst, so müssen wir die Vierhügel als das Organ ansehen, in welchem die Reflexe vom Opticus auf die Irisnerven übergeleitet werden und in welchem die Erregungen der Nerven zu Convergenzbewegungen sich associiren mit den Erregungen der Irisnerven.

§ 17. Die Iris als Diaphragma. Zerstreuungskreise. — Die Iris wirkt nun als Blendungshaut oder Diaphragma, indem sie die Randstrahlen des einfallenden Lichtkegels abblendet. Diese Wirkung kommt sehr in Betracht, da in den dioptrischen Ableitungen immer die Voraussetzung gemacht wird, dass die einfallenden Lichtstrahlen immer nur kleine Winkel mit der Axe des optischen Systems einschliessen, so dass die Sinus den Winkeln proportional gesetzt werden können. Da die Sinus langsamer zunehmen, als die zugehörigen Bogen, so entspricht einem $n$fachen Sinus ein mehr als $n$facher Bogen, und daraus folgt, dass die unter grösseren Winkeln einfallenden Strahlen sich schon vor den unter kleinem Winkel auffallenden Strahlen vereinigen. Je enger die Pupille wird, um so genauer werden sich die von einem Punkte ausgehenden Strahlen wieder in einem Punkte vereinigen, um so schärfer wird dann das Bild eines Objectes auf der Netzhaut sein. Je kleiner ferner die um die Gesichtslinie gelegenen Abschnitte der Krümmungsflächen werden, um so weniger werden auch etwaige Fehler in der Construction der brechenden Medien sich geltend machen können — auch in dieser Beziehung ist die Weite der Pupille von namhaftem Einflusse auf die Deutlichkeit des Sehens.

Um den Einfluss der Pupillenweite auf die Deutlichkeit des Netzhautbildes zu erkennen, wollen wir uns vorstellen, ein leuchtender Punkt befände sich im vorderen Brennpunkte des Auges F_1: die Strahlen desselben sind dann innerhalb des dioptrischen Systems einander parallel, oder der von dem leuchtenden Punkte ausgehende Strahlenkegel ist innerhalb des Auges ein Cylinder; die Basis

des Kegels und Cylinders ist aber die Pupillarfläche und die auf der Netzhaut entworfene Kreisfläche muss denselben Durchmesser haben, wie die Pupille. Hat die Pupille den Durchmesser ab Figur 30, so muss die Kreisfläche auf der Netzhaut NN den Durchmesser α haben; hat aber die Pupille nur den Durchmesser

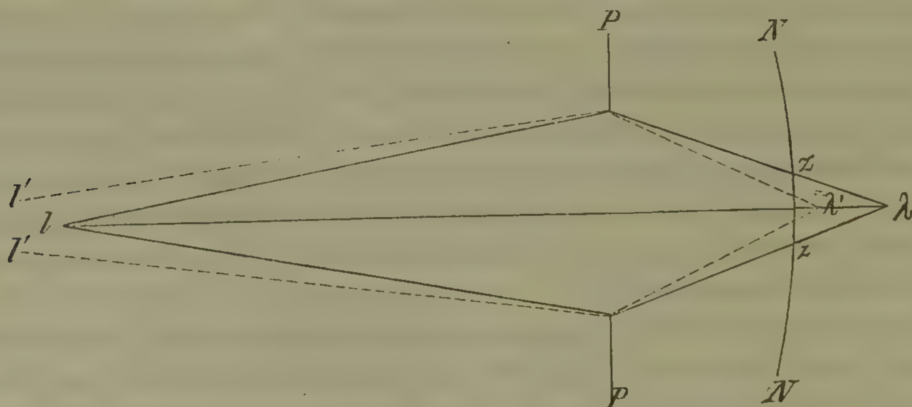
Fig. 30.



$a'b'$, so wird die Netzhautkreisfläche auch nur den Durchmesser α' haben können, und denken wir uns den Pupillardurchmesser immer kleiner werden bis zu punktförmiger Grösse, so wird auch die Projection auf die Netzhaut punktförmig werden, mithin, von der Lichtstärke abgesehen, derselbe Effect eintreten, als wenn die Strahlen in einem Bildpunkte auf der Netzhaut vereinigt würden.

Man bezeichnet die Zerstreuungsfläche des Lichtkegels oder Lichtcylinders als »Zerstreuungskreis«, und findet, dass derselbe abhängig ist in Bezug auf seine Grösse von der Pupillenweite. Dasselbe gilt für alle leuchtenden Punkte, deren conjugirter Bildpunkt vor oder hinter der Netzhaut liegt, also für alle Punkte, für welche das Auge nicht accommodirt ist: sie bilden Zerstreuungskreise auf der Netzhaut. Die Zerstreuungskreise sind zugleich das Bild der Pupille.

Fig. 31.



Wenn die Grösse der Zerstreuungskreise einerseits abhängig ist von der Weite der Pupillaröffnung, so muss sie anderseits abhängig sein von der

Höhe, in welcher der Lichtkegel von der Netzhaut geschnitten wird, oder von der Distanz der Spitze des Kegels von der Netzhaut. Ist in Figur 31 PP die Pupille, l ein leuchtender Punkt, λ der ihm conjugirte Punkt hinter der Netzhaut NN gelegen, so wird der Zerstreuungskreis zz grösser sein, als der Zerstreuungskreis für den punktirten Lichtkegel vom leuchtenden Punkte l', dessen conjugirter Punkt in λ' liegt. Dasselbe wird gelten, wenn der conjugirte Punkt vor der Netzhaut liegt und die Strahlen nachher wieder divergiren.

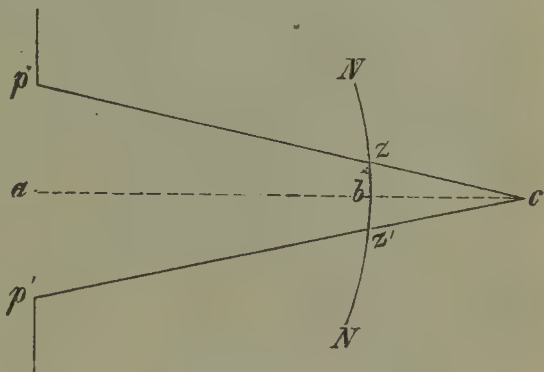
Die Grösse der Zerstreuungskreise auf der Netzhaut lässt sich nun berechnen aus der Weite der Pupille, der Entfernung der Netzhaut von derselben, dem hinteren Brennpunkte des Auges und der Entfernung des leuchtenden Punktes von dem vorderen Hauptpunkte des Auges.

Ist in Figur 32 $pp'c$ der Normalschnitt (senkrecht auf Axe und Basis) eines Strahlenkegels und NN die Netzhaut, welche den Kegel parallel der Basis in z und z' schneidet, so ist

$$pp' : ac = zz' : bc \text{ oder}$$

$$zz' = \frac{pp' \cdot bc}{ac}.$$

Fig. 32.



zz' ist aber der Durchmesser des Zerstreuungskreises auf der Netzhaut.

Für den Fall, dass bei unendlich entferntem leuchtenden Punkte der hintere Hauptbrennpunkt des Auges in die Ebene der Netzhaut fällt (also für ein emmetropisches, accommodationsloses Auge), hat Listing (Art. Dioptrik in Handwörterbuch der Physiologie IV. p. 499) die Grösse der Zerstreuungskreise für sein schematisches Auge (s. § 11) berechnet, indem er die Pupillenweite = 4 Mm. Durchmesser setzt, wenn der leuchtende Punkt von unendlicher Entfernung sich bis auf 88 Mm. Entfernung dem vorderen Hauptbrennpunkte des Auges nähert. Die Lage der Spitze des Strahlenkegels hinter der Netzhaut ergiebt sich aus der Formel 5) (§ 2) für die conjugirten Vereinigungsweiten und Brennweiten: bezeichnet l_1 die Entfernung des leuchtenden Punktes von dem vorderen Hauptbrennpunkte, l_2 die Entfernung des Bildpunktes von dem hinteren Hauptbrennpunkte, F_1 und F_2 die vordere und hintere Hauptbrennweite, so haben wir

$$l_2 = \frac{F_1 F_2}{l_1}.$$

Das Product $F_1 F_2 = 12,8326 \cdot 22,647$ ist von Listing in runder Zahl = 300 □Mm. gesetzt.

In der folgenden Tabelle IX bedeutet also l_1 die Entfernung des leuchtenden Punktes von dem vorderen Brennpunkte nach vorn, l_2 die des Bildpunktes von der Netzhaut nach hinten, z den Durchmesser der Zerstreuungskreise. Pupillenweite = 4 Mm. Durchmesser.

Tabelle IX.

l_1	l_2	z
∞	0	0
65 Meter	0,005 Mm.	0,0011 Mm.
25 -	0,012 -	0,0027 -
12 -	0,025 -	0,0056 -
6 -	0,050 -	0,0112 -
3 -	0,100 -	0,0222 -
1,5 -	0,20 -	0,0443 -
0,75 -	0,40 -	0,0825 -
0,375 -	0,80 -	0,1616 -
0,118 -	1,60 -	0,3122 -
0,094 -	3,20 -	0,5768 -
0,088 -	3,42 -	0,6484 -

Zum Verständniss dieser Tabelle bemerken wir noch, dass die Grösse von 0,0027 Mm. etwa die Grenze der Wahrnehmbarkeit von Seiten der Netzhautelemente bezeichnet, dass mithin ein Unterschied in der Deutlichkeit eines Objectes noch nicht wahrgenommen werden kann, wenn das Auge für ∞ oder auf mehr als 25 Meter accommodirt ist. Wir können allgemein sagen, dass Zerstreuungskreise, welche um 0,002 Mm. von einander differiren, gleich gross erscheinen.

Denken wir uns demnach das Auge auf 375 Mm. accommodirt, so würde es unter dieser Annahme nach der Rechnung auch zugleich für 379,4 Mm. und für 370,3 Mm. völlig genau accommodirt sein: diese Differenz bezeichnet man als Accommodationslinie (Czermak, Physiologische Studien p. 1. [Aus den Wiener Akademie-Berichten 1854, XII. p. 322]). Die Accommodationslinie würde also von ∞ bis 30 Meter, von 379,4 Mm. bis 370,3 Mm., von 88,27 Mm. bis 87,73 Mm. reichen und abnehmen mit der absoluten Entfernung des Objectes vom Auge.

Da die Grösse der Zerstreuungskreise proportional der Pupillenweite zu- und abnimmt, so muss die Grösse der Accommodationslinie sich umgekehrt verhalten: bei einer Pupillenweite von 2 Mm. statt 4 Mm. würden also die Zerstreuungskreise nur halb so gross, die Accommodationslinie doppelt so lang sein.

Da die Pupille sich nicht sehr viel weiter als auf 2 Mm. Durchmesser verkleinert, so werden die Zerstreuungskreise von sehr nahen Objecten bei Accommodation für eine grössere Entfernung immer sehr merklich werden: man kann aber statt der Pupille einen Schirm mit einem sehr feinen Loch, also ein punktförmiges Diaphragma dicht vor das Auge bringen, um Objecte in grösster Nähe, für welche man nicht mehr accommodiren kann, scharf und ohne Zerstreuungskreise zu sehen — und umgekehrt ferne Objecte deutlich zu sehen, während man für grösste Nähe accommodirt ist. Man braucht z. B. nur in ein Kartenblatt mit einer sehr feinen Nadel ein Loch zu stechen (von etwa 1/4 Mm. Durchmesser), um bei Accommodation für die Ferne feinste Schrift in 50 Mm. Entfernung lesen zu können — nur sind die Objecte dann sehr lichtschwach. Wegen der grossen Nähe erscheinen dann die Buchstaben oder sonstigen Objecte sehr gross, wie sich aus Formel 7) (§ 2) ergiebt. Ein punktförmiges Diaphragma kann daher als Lupe dienen und ist wegen seiner Billigkeit ein ziemlich verbreiteter Handelsartikel. Ueber die Wirkung punktförmiger Diaphragmen s. Czermak, Physiologische Studien, p. 12 (aus den Wiener Akadem.-Berichten 1854, XII. p. 334) — über die zunehmende Vergrösserung des Objectes bei Entfernung des punktförmigen Diaphragmas vom Hornhautscheitel s. Helmholtz, Physiol. Optik p. 96.

Von dem Auftreten und von der verschiedenen Grösse der Zerstreuungskreise kann man sich sehr leicht unterrichten, wenn man einen hellen Punkt auf dunklem Grunde oder eine helle oder dunkle Linie auf entgegengesetztem Grunde vor das Auge bringt und für eine grössere oder geringere Entfernung absichtlich accommodirt. Das Object erscheint nicht scharf, sondern je nach der Differenz der Accommodationsweite von der Entfernung des Objectes vergrössert und verschwommen. Wir nehmen daher stillschweigend an, dass wir für ein Object richtig accommodirt sind, wenn es uns am schärfsten und deutlichsten erscheint. Für die Genauigkeit, mit welcher wir den richtigen Accommodationszustand unseres Auges beurtheilen, ist massgebend die Beschaffenheit des Objectes und die Güte und Correctheit unseres dioptrischen Apparates — abgesehen von der Schärfe unseres Empfindungsorganes und unseres Urtheils. Diese Umstände kommen namentlich in Betracht, wenn es sich um die Feststellung des genauesten Accommodationsstandes pathologischer Augen handelt, und dieselben haben zur Construction verschiedener Optometer geführt. (S. III. 1, p. 1—22 dieses Handbuches unter Eidoptometrie.)

Die Zerstreuungskreise kommen ferner in Betracht beim Visiren: Visiren heisst, verschieden weit entfernte Punkte an einer Stelle des Gesichtsfeldes zur Deckung bringen. Da das Auge nur für eine Entfernung (in einem gegebenen Momente) accommodirt sein kann, so wird auch nur der eine Punkt ein deutliches Bild entwerfen können, die näheren oder entfernteren Punkte müssen in Zerstreuungskreisen erscheinen. Befinden sich zwei Punkte in verschiedener, aber sehr grosser Entfernung, also über 25 Meter vom Auge entfernt, so ist wegen der Unmerklichkeit des Zerstreuungskreises eine absolut genaue Deckung möglich; befindet sich der eine Punkt aber nahe vor dem Auge, z. B. in 0,5 Meter, der andere in 30 Meter Entfernung, so wird von ersterem unter den Voraussetzungen der Tabelle ein Zerstreuungskreis von 0,12 Mm. Durchmesser gebildet, und man verfährt dann so, dass man den Mittelpunkt des Zerstreuungskreises mit dem Bilde des entfernteren Punktes zur Deckung bringt. Die durch diese sich deckenden Punkte gezogene Linie heisst »Visirlinie«. Da der Zerstreuungskreis das Bild der Pupille ist, so muss die Visirlinie mit dem Strahle zusammenfallen, welcher nach dem Mittelpunkte der Pupille, oder, genau genommen, nach dem Mittelpunkte des Hornhautbildes der Pupille geht. Die Visirlinien sind also zu unterscheiden von der Gesichtslinie, welche von der Netzhautgrube durch die Knotenpunkte geht. Denken wir uns den Augapfel um seinen Drehpunkt nach oben oder unten, rechts oder links gedreht, so wird beim Visiren in diesen Stellungen der Kreuzungspunkt der Visirlinien in den Mittelpunkt der Pupille oder nach der Berechnung von Helmholtz (Physiol. Optik p. 93, 99 und 584) etwa 0,5 Mm. vor den Mittelpunkt der Pupille fallen. Dieser Punkt, der Kreuzungspunkt aller Visirlinien, liegt also etwa 3 Mm. vor dem hinteren Knotenpunkte, dem Kreuzungspunkte der Richtungslinien des Sehens.

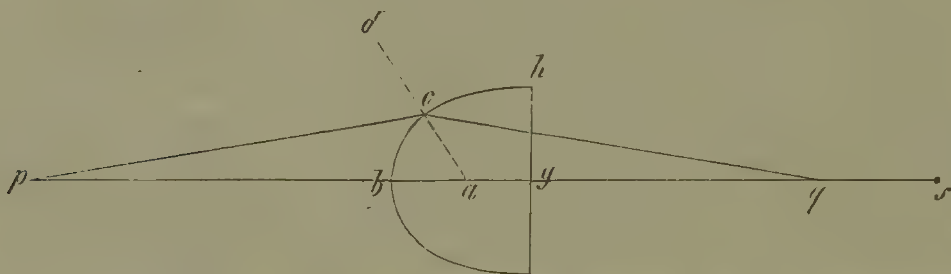
§ 18. Monochromatische Abweichungen. Astigmatismus. — Aus den Untersuchungen über die Krümmungsverhältnisse der brechenden Medien des Auges hat sich ergeben, dass die Hornhaut nicht gleiche Krümmungen in den verschiedenen Meridianen hat und dass der Scheitelpunkt derselben nicht von der Gesichtslinie geschnitten wird, mithin die brechenden Medien des Auges nicht centrirt sind. Für die Brechung der Lichtstrahlen ergiebt sich daraus, dass eine Vereinigung der von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Lichtstrahlen nach der Brechung nicht wieder in einem einzigen Punkte stattfinden kann, dass

vielmehr das Bild eines leuchtenden Punktes, welches auf der Netzhaut entworfen wird, immer eine Fläche sein muss, deren Form und Grösse abhängig ist von der Grösse der Abweichung der Krümmungsradien verschiedener Meridiane, von dem Winkel, welchen die Meridiane maximaler und minimaler Krümmung mit einander bilden, und von dem Winkel zwischen der Gesichtslinie und der Hornhautaxe. — Zu der Asymmetrie der brechenden Flächen und der mangelhaften Centrirung der brechenden Medien kommt endlich noch eine unvollkommene Durchsichtigkeit derselben, in Folge deren eine Zerstreuung des Lichtes nach allen Dimensionen stattfindet. Gegenüber diesen oft erheblichen Unvollkommenheiten des Auges kann die aus der Form der Krümmungen resultirende sphärische Aberration des Auges oder richtiger, die Abweichung wegen der Gestalt der brechenden Flächen in Bezug auf monochromatisches Licht ganz unberücksichtigt gelassen werden.

Wir haben in § 4 die Messungen, welche sich auf die Asymmetrie der Hornhautkrümmung beziehen, angeführt. Diese Asymmetrie ist, wie namentlich Donders in seinen Arbeiten über den Astigmatismus (A. f. O. VI. 1, p. 62, — VI. 2, p. 210, — Astigmatismus und cylindrische Gläser, Berlin 1862, — Anomalien der Refraction und Accommodation, Wien 1866, p. 379) festgestellt hat, individuell sehr verschieden, aber auch im normalen Auge regelmässig vorhanden.

Denken wir uns der Einfachheit wegen ein aphakisches Auge, so muss, wie Sturm (Poggendorff's Annalen 1845, Bd. 65, p. 116, — cf. Fick, Medicinische Physik 1856, p. 326) zuerst entwickelt hat, ein homocentrisches Strahlenbündel, welches auf die asymmetrische Hornhautoberfläche auffällt, nach der Brechung heterocentrisch werden, indem die stärkere Krümmung in einem Meridiane die Strahlen früher zur Vereinigung bringt, als die schwächere Krümmung eines anderen Meridians, wie bereits in § 6 an Figur 16 erläutert worden ist. Stellt nach der Entwickelung von Helmholtz (Physiol. Optik p. 142) Figur 33 einen Haupt-

Fig. 33.



schnitt durch das Ellipsoid der Hornhaut mit der grossen Axe bg, mit der kleinen Axe hg, p den leuchtenden Punkt vor, so wird ein ebenfalls im Hauptschnitt auffallender Strahl pc die grosse Axe in q schneiden, indem

$$\sin acq = n \cdot \sin pcd$$

sein muss. Die nahezu lothrecht bei b auffallenden Strahlen haben also einen gemeinschaftlichen Vereinigungspunkt, dessen Entfernung abhängt von dem Krümmungsradius der krummen Linie bch bei b. Liegt p ∞ entfernt, so ist die hintere Brennweite für den gegebenen Hauptschnitt

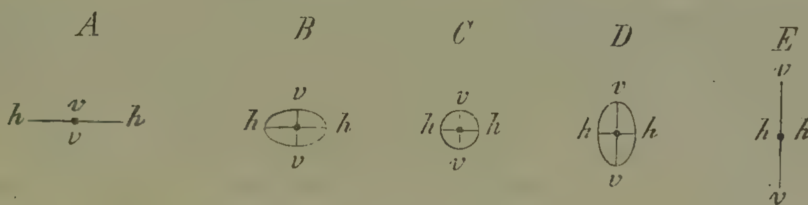
$$F_2 = \frac{n \cdot r'}{n - 1}$$

Denken wir uns senkrecht gegen diesen in der Ebene des Papiers liegenden Hauptschnitt einen Hauptschnitt durch bq und die dritte Axe des Ellipsoids gelegt mit einem Krümmungsradius von dem Werthe r'', so ist entsprechend die hintere Brennweite desselben

$$F_2 = \frac{n \cdot r''}{n - 1}$$

so dass die hier auffallenden Strahlen in s zur Vereinigung kommen; q und s sind die Grenzen der Brennstrecke (STURM), entsprechend der Brennstrecke $f_h f_v$ in Figur 16 (§ 6). Da der Uebergang von dem stärkstgekrümmten Meridiane zu dem wenigstgekrümmten ein ganz allmäliger an der Krümmungsoberfläche ist, so wird ein ganz allmäliges Herunterrücken der Brennweiten der übrigen Meridiane und ein eben so allmäliges Herunterrücken der Brennweiten der übrigen Meridiane und ein eben so allmäliges Zu- und Abnehmen der beiden Zerstreuungsfiguren stattfinden. Denken wir uns die Querschnitte der Brennstrecke q bis s oder Figur 16 f_v bis f_h, d. h. die Projection derselben auf die Netzhaut, so würden wir etwa folgende Formen für dieselben erhalten: Figur 34 in A der Brennpunkt des verticalen Krümmungsschnittes mit unvereinigten horizontalen Schnitten, in B Auseinandertreten der verticalen, Annäherung der horizontalen Schnittlinie, in C gleich weite Entfernung des horizontalen und verticalen Schnittes, daher kreisförmige Zerstreuungsfläche, in D das Umgekehrte wie in B und in E umgekehrt wie in A (s. DONDERS, Anomalien p. 382). Ferner würde ein Zerstreuungskreis bei zu grosser Accommodation für die Nähe die Form B haben, nur grösser sein, ein Zerstreuungskreis bei zu grosser Accommodation für die Ferne eine ähnliche Form wie D haben.

Fig. 34.



Mit diesen Formen der Zerstreuungsbilder stimmen nun in der That die Erscheinungen überein, welche wir bei der Beobachtung von Objecten wahrnehmen. Da die meisten Augen die bedeutendsten Krümmungsdifferenzen ungefähr zwischen dem horizontalen und verticalen Meridiane zeigen, so beobachtet man Folgendes:

1) Ein heller Lichtpunkt (Bild einer Kerzenflamme in einem Convexspiegel, TH. YOUNG), oder kleine runde, dem Licht zugekehrte Oeffnung in einem Schirm, oder Spiegelbild derselben in einem Convexspiegel (DONDERS) bildet, wenn das Auge auf einen vor oder hinter ihm befindlichen Punkt accommodirt ist, nicht einen runden, sondern einen elliptischen Zerstreuungskreis. War bei Accommodation des Auges vor dem hellen Punkte die grosse Axe der Ellipse vertical, so ist sie bei Accommodation hinter dem hellen Punkt horizontal, entsprechend B und D in Figur 34. — Statt zu accommodiren, kann man das

emmetropische Auge durch Vorhalten eines schwachen Convexglases (z. B. $^1/_{40}$) myopisch machen und dann das Convexglas vertauschen mit einem Concavglase (z. B. — $^1/_{20}$). Bei raschem, wiederholtem Wechsel mit beiden Gläsern erscheinen (in Folge des Auftretens eines Nachbildes) die Zerstreuungsbildchen in Form eines Kreuzes (Donders, Astigmatismus p. 15).

2) Zwei feine Drähte, der eine vertical, der andere horizontal, die sich in einer Ebene kreuzen, werden nicht gleichzeitig scharf gesehen: sieht man den horizontalen scharf, so muss sich der verticale, um eben so deutlich zu erscheinen, vom Auge entfernen — accommodirt man für den verticalen, so muss man den horizontalen, um ihn eben so scharf zu sehen, dem Auge nähern.

3) Eine Anzahl dicht neben einander befindlicher Parallelstreifen in verticaler Richtung (Burkhardt, Internationale Sehproben, Cassel 1871, Taf. V) erscheint scharf begrenzt, während in gleicher Ebene liegende horizontale Parallelstreifen undeutlich begrenzt, mit Zerstreuungskreisen erscheinen. Können bei gewisser Entfernung die verticalen Streifen eben noch unterschieden werden, so ist dies bei den horizontalen Streifen nicht möglich (Donders).

4) Blickt man durch einen 0,5 Mm. bis 1 Mm. breiten verticalen Spalt auf einen im Nahepunkte befindlichen hellen Punkt, so erscheint derselbe scharf begrenzt; vertauscht man den verticalen Spalt plötzlich mit einem horizontalen, so erscheint der Punkt verwaschen; er erscheint wieder scharf, wenn er etwas vom Auge entfernt wird. Der Nahepunkt liegt mithin für den verticalen Meridian dem Auge näher, als für den horizontalen Meridian (Knapp, A. f. O. VIII. 2, p. 193).

5) Bringt man vor die Pupille zwei kleine, 2 Mm. von einander entfernte Löcher in einem Schirm (wie im Scheiner'schen Versuche, § 13 Figur 26) und spannt in der Verlängerung der Sehaxe einen Faden aus, so erscheint derselbe in einer gewissen Entfernung einfach, wenn die beiden Löcher vertical stehen; dreht man bei unveränderter Accommodation den Schirm so, dass die beiden Löcher horizontal stehen, so liegt die einfach gesehene Stelle des Fadens ferner (Knapp, VIII. 2, p. 195). Die Brennweite in der Verticalebene des Auges ist also kürzer, als in der Horizontalebene. — Weitere Versuche s. bei Donders, Anomalien p. 380 u. f.

Wenn einerseits verschiedene Krümmungsradien für den horizontalen und verticalen Meridian der Hornhaut gefunden worden sind, anderseits Erscheinungen beim Sehen zur Beobachtung kommen, welche sich von solchen Krümmungsdifferenzen der Hornhautoberfläche ableiten lassen, so wird der Zusammenhang beider Beobachtungen ein sehr wahrscheinlicher sein. Ein Beweis für die Abhängigkeit der Sehstörungen von der Hornhautasymmetrie kann aber nur durch quantitative Bestimmungen erbracht werden, und es entstehen die Fragen, erstens: ist nur die Hornhautasymmetrie oder ist auch zugleich Linsenasymmetrie Ursache des Astigmatismus? zweitens: stimmt die an der Hornhaut beobachtete Asymmetrie in Bezug auf Richtung und Grösse mit den beobachteten Sehstörungen?

Diese Fragen sind von Donders (Anomalien p. 393. — Astigmatismus p. 24) und Knapp (A. f. O. VIII. 2, p. 205) einer eingehenden Untersuchung sowohl für normale, als für pathologisch-astigmatische Augen unterworfen worden nach folgendem Verfahren: zuerst wird an einem feinen Lichtpunkte und mittelst des Fadenoptometers (2) die Richtung und Grösse des Astigmatismus bestimmt und

z. B. gefunden, dass ein Lichtpunkt als verticale Linie erscheint, dass horizontale Linien noch bei 118 Mm. Entfernung vom Knotenpunkte, verticale nur bei 137 Mm. Entfernung deutlich gesehen werden. Setzt man die beiden Abstände als conjugirte Vereinigungsweiten einer Convexlinse und berechnet daraus ihre Brennweite, so drückt ihr reciproker (umgekehrter) Werth ihre Brechkraft und die Grösse der Asymmetrie des gesammten Auges aus. Es würde also sein die Asymmetrie

$$As = \frac{1}{A} = \frac{1}{118\,\text{Mm.}} - \frac{1}{137\,\text{Mm.}} = \frac{1}{851\,\text{Mm.}}.$$

Weiter wird nun die Asymmetrie der Hornhautoberfläche mittelst des Ophthalmometers bestimmt und daraus die hinteren Brennweiten der beiden Meridianschnitte, indem

$$F_{2h} = \frac{n \cdot r_h}{n-1} \text{ und } F_{2v} = \frac{n \cdot r_v}{n-1}$$ woraus sich die Länge der Brennstrecke $B = F_{2h} - F_{2v}$ ergiebt.

Um nun für die Grösse der Hornhautasymmetrie einen numerischen Ausdruck zu finden, welcher demjenigen der Asymmetrie des ganzen Auges vergleichbar ist, berechnet Knapp zunächst die vordere Brennweite des verticalen Meridians

$$F_{1v} = \frac{r_v}{n-1} = \frac{F_{2v}}{n}.$$

Betrachtet man nun die Hornhaut als die sphärische Trennungsfläche eines einfachen brechenden Systems mit dem Krümmungsradius r_v, und nimmt F_{2h} als eine hintere Vereinigungsweite an, so findet sich die dazu gehörige vordere Vereinigungsweite f_1 nach der Formel 5) (§ 2)

$$f_1 = \frac{F_{2h} \cdot F_{1v}}{F_{2h} - F_{2v}}$$

Dann ist $\frac{1}{f_1}$ der numerische Ausdruck für die Grösse der Meridianasymmetrie der Hornhaut. Befände sich nämlich die Netzhaut im Brennpunkte des horizontalen Meridians, so würden sich in derselben vereinigen zu einem Bildpunkte sowohl horizontale parallele Strahlen, als auch verticale Strahlen, welche von einem um f_1 entfernten leuchtenden Punkte ausgehen. Die Grösse der Asymmetrie der Hornhaut, welche wir mit As_c bezeichnen, ist also gleich

$$\frac{1}{f_1} - \frac{1}{\infty} = As_c$$

Die Asymmetrie des ganzen Auges As_0 ist nun die Summe der Asymmetrie der Hornhaut As_c und der Asymmetrie der Linse As_l

$$As_0 = As_c + As_l$$

woraus die Asymmetrie der Linse sich ergiebt

$$As_l = As_0 - As_c$$

Knapp hat an seinem eigenen Auge gefunden

$$As_c = 1021{,}5\ \text{Mm. und } As_0 = 851\ \text{Mm.}$$

Es findet sich also

$$As_l = \frac{1}{851} - \frac{1}{1021{,}5} = \frac{1}{5098{,}5\ \text{Mm.}}$$

In diesem Falle ist also, weil As_0 grösser als As_c, die Ungleichheit der Meridiankrümmung der Hornhaut gleichsinnig mit derjenigen der Krystalllinse; es

kann aber auch der umgekehrte Fall stattfinden, dass die Asymmetrie der Hornhaut von der der Linse compensirt wird, und As_0 kleiner gefunden wird als As_c. — KNAPP hat in 16 Fällen 11 Mal gleichsinnige Asymmetrie der Hornhaut und Linse, 5 Mal ungleichsinnige Asymmetrie gefunden, — DONDERS in 15 Fällen nur 2 Mal ungleichsinnige Asymmetrie: die Meridianasymmetrie der Hornhaut und die des Linsensystems summiren sich also häufiger, als sie sich compensiren.

Es geht ferner aus DONDERS' Untersuchungen (Anomalien p. 393) hervor, dass die Asymmetrie keineswegs gerade im verticalen und horizontalen Meridian ihr Maximum erreicht, sondern meistens in dazwischen gelegenen Meridianen. Ueber die Ermittelung dieser Meridiane s. DONDERS a. a. O. p. 404.

Wir verweisen ferner auf KAISER, Theorie des Astigmatismus im A. f. O. XI. 3, p. 186.

Was nun weiter die durch den Astigmatismus hervorgebrachten Störungen beim Sehen betrifft, so giebt schon THOMAS YOUNG (Philos. Transactions 1793, Vol. 83, p. 169 und Miscellaneous Works of the late TH. YOUNG edited by Peacock London 1855, I. p. 26) an, dass er eine Asymmetrie seiner Augen (und zwar As_0) von $\frac{1}{621}$ Mm. gefunden, aber nie beobachtet habe, dass sein Gesicht irgendwie dem anderer Leute nachgestanden habe, und KNAPP bemerkt, dass keiner seiner 16 Fälle, für die der grösste Werth der Meridianasymmetrie $\frac{1}{523}$ Mm., der kleinste Werth $\frac{1}{2360}$ Mm. betrug, Sehschwäche in irgend einer Hinsicht gezeigt hätte. Der Astigmatismus kann aber auch so hochgradig sein, dass dadurch sehr bedeutende Störungen beim gewöhnlichen Sehen hervorgerufen werden und eine Correctur durch cylindrische Brillen erforderlich wird, worüber namentlich DONDERS' Anomalien nachzusehen sind.

Bezüglich der Genauigkeit der Bestimmung für die Asymmetrie des Gesammtauges verweisen wir auf DONDERS und KNAPP (A. f. O. VIII. 2, p. 210), welcher letztere auch auf Veränderungen des Astigmatismus hinweist, welche durch Accommodationsbewegungen hervorgebracht werden können, Untersuchungen, welche KAISER (A. f. O. XI. 3, p. 186) weiter geführt hat.

Aus den bisherigen Untersuchungen geht hervor, dass wohl alle Augen astigmatisch sind und völlig symmetrische Augen eine seltene Ausnahme sein dürften.

Der Vereinigung des von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlenkegels in genau einen Punkt steht ferner entgegen, dass die Augenmedien nicht vollkommen centrirt sind; wir haben in § 4 gesehen, dass die Gesichtslinie nicht zusammenfällt mit der Hornhautaxe, sondern dass die Gesichtslinie medianwärts von der Hornhautaxe und ausserdem bald nach oben, bald nach unten von derselben abweicht. Da wir indess nach § 7 und § 9 die Abweichung der Linsenaxe von der Hornhautaxe nicht genau genug bestimmen können, um Berechnungen über die Interferenzen der beiden von ihnen ausgehenden Lichtkegel zu machen, so lässt sich bis jetzt die Grösse der aus der mangelhaften Centrirung hervorgehenden Störung nicht bestimmen.

Ebenso wenig lässt sich endlich die Grösse der Störung für die genaue Vereinigung der Lichtstrahlen in einen Punkt bestimmen, welche hervorgebracht

wird durch kleine Unregelmässigkeiten auf der Oberfläche der Hornhaut und durch undurchsichtige Partikelchen innerhalb der brechenden Medien. Die Hornhautoberfläche ist nicht vollkommen glatt, vielmehr besitzt dieselbe kleine, wechselnde Erhöhungen, welche von abgestossenen Epithelien, Fetttröpfchen, Schleimklümpchen und dergleichen herrühren und auch im normalen Auge stets vorhanden sind. Auf eine grössere Anhäufung derartiger Ungleichmässigkeiten führt man die *Polyopia monocularis,* den normalen unregelmässigen Astigmatismus nach DONDERS, zurück. FICK (Medicinische Physik p. 332) hat eine Construction der Strahlenablenkung gegeben, wie sie durch eine kleine convexe Hervorragung auf der Hornhaut erzeugt werden würde: bei der Unregelmässigkeit der hier in Betracht kommenden Objecte wird die Veränderung der Strahlenbrechung eine sehr complicirte sein und von dem Wechsel der Objecte und ihrer Lage auf der Hornhaut abhängig sein. — Beim Sehen auf eine gleichmässig helle Fläche, z. B. den hellgrauen oder blauen Himmel, machen sich die Unregelmässigkeiten auf der Hornhaut bemerkbar, indem sie die Gleichmässigkeit der Beleuchtung stören und einzelne Stellen verdunkeln — ihre Bewegungen sind vom Lidschlage und den Augenbewegungen abhängig und sie bilden einen Theil der sogenannten fliegenden Mücken (*mouches volantes*), welche aber, wie wir in § 20 sehen werden, auch noch von entoptischen Objecten herrühren. Zweitens sind also in den Augenmedien selbst undurchsichtige oder durchsichtige, aber mit einem anderen Brechungsexponenten versehene Partikelchen, welche den regelmässigen Gang der Lichtstrahlen verändern, indem sie theils eine Zurückwerfung, theils eine Zerstreuung, theils eine Ablenkung bewirken. Dass die brechenden Medien nicht vollkommen durchsichtig sind, tritt sehr frappant hervor bei der Untersuchung mit seitlicher Beleuchtung (cf. SNELLEN und LANDOLT dieses Handbuch III. 1, p. 165): die Pupille erscheint dann grau oder bläulichgrau, und diese Undurchsichtigkeit nimmt mit dem Lebensalter zu (DONDERS, Anomalien p. 170). Sind kleine, undurchsichtige Körnchen in den durchsichtigen Medien vorhanden, so wird dadurch eine gleichmässige Zerstreuung des einfallenden Lichtes nach allen Dimensionen, ähnlich wie bei einer mit Wasserdampf oder Nebel oder Staub erfüllten Luft stattfinden müssen. Dadurch wird weiter eine Erhellung der Netzhaut in ihrer ganzen Ausdehnung bewirkt werden, indem jedes einzelne Körnchen gewissermassen selbst Lichtquelle wird und nach allen Seiten hin Licht aussendet. Fällt also von einem leuchtenden Punkte, z. B. einem Stern, Licht in das Auge, so wird nur ein Theil des einfallenden Lichtes normal gebrochen, ein anderer Theil aber im Auge diffus zerstreut werden, und keine Stelle der Netzhaut absolut lichtfrei oder dunkel sein können. Der Grund des gestirnten Himmels z. B. wird daher niemals ganz dunkel erscheinen können auch bei vollkommenster Durchsichtigkeit der Atmosphäre (cf. HELMHOLTZ, Physiol. Optik p. 142 und Poggendorff's Annalen 1852, Bd. 86, p. 509).

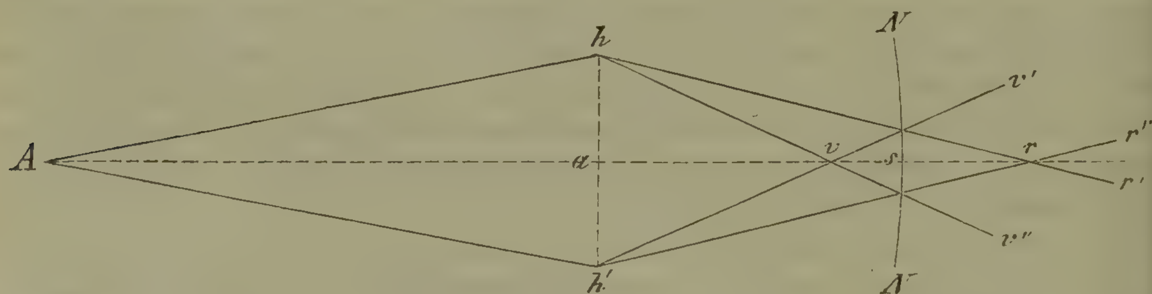
Ausserdem treten aber Zerstreuungsfiguren von hellen Lichtpunkten auf, welche für jedes Auge eine besondere constante Form haben und von abnorm brechenden Partikeln der Linse, des Glaskörpers u. s. w. herrühren (DONDERS, Anomalien p. 169 und p. 457). Dahin gehören folgende Erscheinungen: 1) bei möglichst guter Accommodation erscheinen helle Fixsterne oder überhaupt punktförmige Objecte auf dunklem Grunde, z. B. das Reflexbild eines Lichtes auf einer Thermometerkugel oder ein Körnchen Bleiweiss (Abschabsel einer Visitenkarte)

auf schwarzem Sammet (DONDERS) mit eigenthümlichen, unregelmässigen Strahlen versehen. Diese Strahlen scheinen bei allen Augen vorzukommen, sind aber verschieden an Länge und Richtung bei verschiedenen Individuen und auch verschieden für das rechte und linke Auge derselben Person; 2) bei unrichtiger Accommodation erscheinen die Zerstreuungsbilder heller Punkte nicht als kreisförmige Flächen, sondern als sternförmige, zackige Figuren (HELMHOLTZ, Physiol. Optik p. 138 Figur 65), entsprechend dem entoptischen Bilde der Linse (DONDERS, Figur 104 p. 169 der Anomalien etc.). Für den Zusammenhang der sternförmigen Zerstreuungsbilder mit dem entoptischen Bilde der Linse macht DONDERS (p. 459) geltend, dass bei Bewegungen des Auges keine parallaktischen Verschiebungen des Bildes eintreten, dasselbe also von Objecten in der Nähe der Pupillarebene herrühren muss, und zweitens, dass es bei Mangel der Krystalllinse (Aphakie) fehlt.

Wenn nun durch die Fehler der brechenden Medien und ihrer Krümmungsflächen die Bilder von Punkten nicht punktförmig auf der Netzhaut werden, sondern Zerstreuungsfiguren entstehen, so muss auch die linienförmige Grenze heller und dunkler Flächen nicht als scharfe Linie, sondern als verwaschene Grenzzone erscheinen, in welcher Hell und Dunkel gemischt sind zu einer Nüance, welche heller als die dunkle Fläche und dunkler als die helle Fläche erscheint. Darauf beruhen zum Theil die Erscheinungen der Irradiation, worunter man gewöhnlich die Vergrösserung heller Flächen auf Kosten der dunkleren Umgebung versteht. Wir werden auf die Irradiation erst später näher eingehen und ihre Einflüsse auf die Wahrnehmung von Objecten besprechen (§ 53).

§ 19. Chromasie des Auges. Da das weisse Licht aus Lichtwellen von verschiedener Schwingungsdauer und daher auch verschiedener Brechbarkeit zusammengesetzt ist, so kann durch die Medien des Auges weisses, von einem Punkte ausgehendes Licht nicht in einem gemeinschaftlichen Vereinigungspunkte zusammentreffen, vielmehr werden die brechbarsten, die violetten Strahlen ihren Vereinigungspunkt vor den wenigst brechbaren, den rothen Strahlen haben müssen. Ist in Figur 35 A ein weisser leuchtender Punkt, hh' die Hauptebene, so werden die rothen Strahlen ihren Vereinigungspunkt in r, die violetten Strahlen

Fig. 35.



ihren Vereinigungspunkt in v haben, während die Strahlen mittlerer Brechbarkeit, also die grünen Strahlen in s zusammentreffen. Befindet sich in NN die Netzhaut, so muss ein Zerstreuungskreis mit gemischtem, also weissem Lichte erscheinen; wäre die Netzhaut durch v gelegt, so würde in der Mitte des Zer-

streuungskreises Violett, am Rande Roth erscheinen, umgekehrt, wenn sie sich in r befände. Denken wir uns nun die Netzhaut wieder durch s gelegt, und den unteren Theil der Kegelbasis (die untere Hälfte der Pupille) ah' verdeckt, so fallen die violetten Strahlen zwischen ah' und av sowie deren Verlängerungen vv' und vr fort und die rothen zwischen $h'r$ und ar. Es verschwindet also oberhalb der Axe das violette auf NN fallende Licht, unterhalb das rothe Licht, und demgemäss wird ein unten violetter, oben rother Zerstreuungskreis auf der Netzhaut gebildet werden. Aus den Beobachtungen von Frauenhofer über die Brechungsverhältnisse verschiedener Lichtwellen in Wasser lässt sich die Differenz der Brennweiten des Auges für rothes und violettes Licht berechnen: den Brechungsindex für rothes Licht in Wasser n^r fand Frauenhofer $= 1,331705$, für violettes Licht $n^v = 1,341285$. Setzen wir den Krümmungsradius des reducirten Auges von Listing $= 5,1248$ Mm., so haben wir für die Hauptbrennweite des rothen Lichtes f_r (Formel 4ª § 2)

$$f_r = \frac{n_r\, r}{n_r - 1} = 20,574$$

für die des violetten Lichtes

$$f_v = \frac{n_v\, r}{n_v - 1} = 20,140$$

Die Distanz der beiden Brennpunkte für rothes und für violettes Licht beträgt darnach 0,434 Mm. A. Matthiessen (Comptes rendues 1847, XXIV. p. 875) berechnet nach seinen Versuchen, in denen er den Nahepunkt für ein mit rothem und ein mit violettem Lichte beleuchtetes Object bestimmte, die Distanz der Brennpunkte auf 0,58 bis 0,62 Mm., im Mittel also auf 0,6 Mm. (Helmholtz, Physiol. Optik p. 127—131).

Um nun die Chromasie des Auges experimentell nachzuweisen, blicke man auf die Grenze zwischen einem schwarzen und weissen Felde, etwa auf den Rahmen einer Fensterscheibe gegen weisse Wolken und schiebe ein undurchsichtiges Blatt dicht vor dem Auge bis zur Mitte der Pupille vor, so erscheint die Grenze zwischen den beiden Feldern blau gesäumt oder gelb gesäumt, je nachdem man das Kartenblatt von der Seite des weissen oder von der Seite des schwarzen Feldes vor die Pupille schiebt (Newton, Opticks Bd. II. P. II. Prop. VIII. 1717, p. 144).

Blickt man bei für die Ferne accommodirtem Auge auf eine nahe vor dem Auge befindliche weisse Linie auf schwarzem Grunde, so erscheint dieselbe mit gelbem oder röthlichgelbem Saume, in der Mitte des Zerstreuungsbildes aber ein blauer Streifen. — Ebenso ist die Erscheinung, wenn man durch ein feines Loch in einem Kartenblatte auf einen weissen Hintergrund blickt und das Loch nicht gerade vor die Mitte der Pupille hält, oder statt des Loches durch einen schmalen Spalt blickt. — Ferner erscheinen die Nadeln im Scheiner'schen Versuche (§ 13) farbig gesäumt oder, wenn sie fein genug sind, ganz und gar bläulich oder gelbröthlich gefärbt. — Sticht man (Czermak, Physiol. Studien in Wiener Akademie-Berichte XVIII. p. 363) einen 2—4 Mm. Durchmesser haltenden Kreis von 10 bis 20 feinen Löchelchen in ein Kartenblatt und blickt durch dieselben nach dem Himmel oder einer hellen weissen Fläche so, dass die gelben oder blauen Säume der Zerstreuungsbilder sich decken, so erscheint in der Mitte des Kreises ein gelber oder blauer Fleck, je nachdem das Kartenblatt sich diesseits oder jenseits des Accommodationspunktes befindet. Je weiter die Pupille ist, um so deutlicher

ist die Chromasie und umgekehrt; bei durch Atropin erweiterter Pupille erscheinen alle dunkeln Objecte mit heller Begrenzung farbig gesäumt. Zweckmässiger ist es, statt mit weissem Lichte zu experimentiren, ein gefärbtes Glas vor die Augen zu bringen, welches die mittleren Farbentöne des Spectrums nicht durchlässt, sondern nur die rothen und die blauen (oder violetten) Strahlen, z. B. die gewöhnlichen violetten oder die kobaltblauen Gläser: wo bei den angegebenen Versuchen mit weissem Lichte ein Gelb erscheint, sieht man dann roth, wo dort blau erscheint, violett oder blau. (Helmholtz, Physiol. Optik p. 127.)

Die verschiedene Brechung der Augenmedien für verschiedene Farbenstrahlen des Spectrums ergiebt sich auch daraus, dass ein für das rothe Licht des Spectrums accommodirtes Auge nicht zugleich für das blaue oder violette Licht desselben accommodirt ist. Sowohl das Auge, als auch ein Fernrohr oder Mikroskop müssen anders eingestellt werden für die rothe, wie für die übrigen Abtheilungen des Spectrums: Fraunhofer fand, dass ein für die rothgelbe Farbe der Linie *C* des Spectrums auf ∞ eingestelltes Auge sich für die Linie *G* (zwischen Indigo und Violett) auf 500 bis 600 Mm. nähern musste, um die Objecte deutlich zu sehen. (Gilbert's Annalen 1814, Bd. 56, p. 304.)

Dass wir für gewöhnlich von der Chromasie des Auges nichts bemerken, liegt wohl hauptsächlich daran, dass wir selten bei halbverdeckter Pupille Grenzen von Hell und Dunkel sehen, zum Theil aber auch daran, dass wir nicht darauf achten; sobald man aufmerksam auf chromatische Erscheinungen wird, sieht man sie gar nicht selten. Es scheint, dass emmetropische oder fernsichtige Augen leichter die Chromasie bemerken, als myopische Augen.

§ 20. Entoptische Erscheinungen. (cf. Snellen und Landolt: Entoptoscopie in III. 1, p. 173—180 dieses Handbuches.)

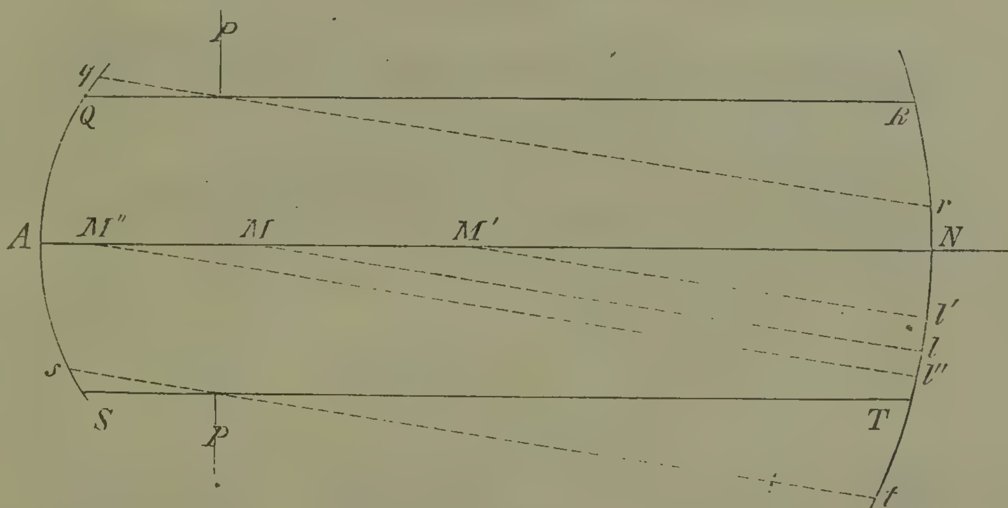
Man versteht unter entoptischen Erscheinungen diejenigen Bilder, welche von den in den brechenden Medien des Auges gelegenen Objecten auf die empfindende Schicht der Netzhaut geworfen werden. Diese Bilder treten auf:

1) wenn ein leuchtender Punkt sich im vorderen Brennpunkte des Auges befindet; dann gehen die Strahlen in den brechenden Medien parallel und ein in denselben befindliches Object, z. B. die Iris, muss einen Schatten auf die Netzhaut werfen, welcher von gleicher Grösse wie das Object ist. Dies ergiebt sich aus Figur 30 in § 17. — Es bedarf kaum der Bemerkung, dass, wenn der leuchtende Punkt sich noch näher am Auge befindet, als der vordere Brennpunkt, die Strahlen innerhalb des Auges divergirend werden, wenn er dagegen etwas weiter entfernt, als der vordere Brennpunkt, sich befindet, die Strahlen ein wenig convergiren müssen. Dadurch wird aber nichts weiter als die Grösse des geworfenen Schattens verändert. Wenn aber der leuchtende Punkt in der vorderen Brennebene bewegt wird, so wird daraus unter bestimmten Bedingungen eine Bewegung des Bildes hervorgehen, welche gleichsinnig mit der Bewegung des leuchtenden Punktes oder entgegengesetzt derselben erscheint. Liegt nämlich das entoptisch gesehene Object in der Pupillarebene oder wenig von derselben entfernt, so ist die Bewegung des Bildes Null, liegt es vor der Pupillarebene, so ist sie entgegengesetzt, liegt es hinter der Pupillarebene, so ist sie gleichsinnig. Listing (Beitrag zur physiologischen Optik, Göttingen 1845, abgedruckt aus den Göttinger Studien 1845), welcher diese von den Bewegungen des leuchtenden

Punktes oder des Auges abhängige Lagenveränderung des entoptischen Bildes zuerst beobachtet hat, bezeichnet dieselbe als relative entoptische Parallaxe und benutzt dieselbe zur Auffindung der ungefähren Lage des Objectes im Auge.

Stellt nach LISTING (p. 42) Figur 36 in einem verticalen Durchschnitt des Auges QAS die erste Grenzfläche, PP die Pupille, RNT die Netzhaut und AN die Augenaxe vor und sind QR und ST die Grenzstrahlen des zur Axe parallelen Lichtcylinders im Auge, für die erste Stellung des leuchtenden Punktes in der

Fig. 36.

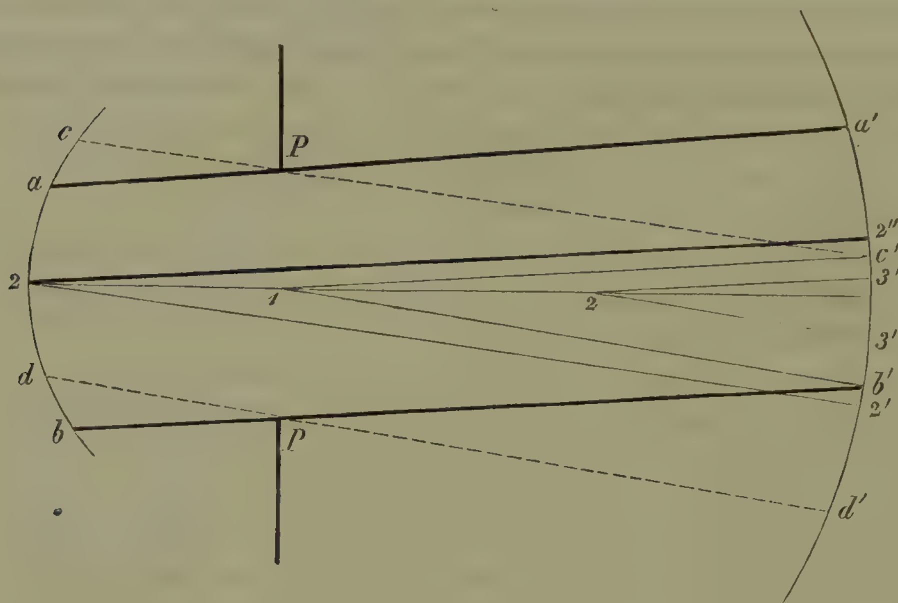


Axe — sind ferner in M'', M, M' schattenwerfende Körper vor, in und hinter der Pupillarebene, so werden alle drei Körper ihre Schatten nach N werfen. Sind für die zweite Stellung des leuchtenden Punktes qr und st die Grenzstrahlen, so werden die Schatten der Körper M'', M, M' nach l'' l und l' auf die Netzhaut fallen. In beiden Stellungen des leuchtenden Punktes wird M in der Mitte des Zerstreuungskreises erscheinen, M' aber eine Versetzung im Zerstreuungskreise nach oben, M'' nach unten erleiden. Diese Ortsveränderungen würden bei Bewegung des leuchtenden Punktes nach unten die entgegengesetzten sein. Die Binnenobjecte werden folglich je nach ihrer Entfernung von der Ebene der Pupille Veränderungen in ihrer scheinbaren Lage unter sich und gegen den Zerstreuungskreis durch die Bewegungen des leuchtenden Punktes (oder die Bewegungen des Auges) erleiden, und zwar alle vor der Pupille befindlichen Objecte eine den Bewegungen des leuchtenden Punktes entgegengesetzte, alle hinter der Pupille befindlichen eine mit den Bewegungen des leuchtenden Punktes gleichsinnige Bewegung.

Genauer lässt sich nach der von DONDERS (Anomalien p. 170) angegebenen Methode die Tiefenlage der Schatten werfenden Objecte bestimmen. DONDERS blickt statt auf einen auf zwei in der vorderen Brennebene befindliche leuchtende Punkte (erhellte Löcher von 0,1 Mm. Durchmesser von 2,5 Mm. bis 3 Mm. Distanz in einem Schirme). Es bilden sich dann zwei in sich homocentrische Lichtcylinder Figur 37 $aa'bb'$ und $cc'dd'$ unter einem solchen Winkel, dass die auf die Netzhaut projicirten Kreise einander ungefähr zur Hälfte decken und wie in Figur 38 erscheinen: von einem in der Mitte der Pupillarebene gelegenen Punkte 1

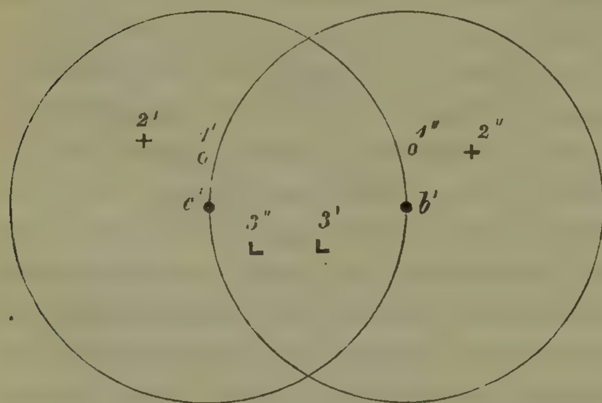
(Figur 37) liegen die beiden entoptischen Schatten genau in der verticalen Mittellinie der beiden Kreise (1′ 1″ in Figur 38), im Kreise *a′ b′* Figur 37 in *c′* im Kreise *c′ d′* bei *b′* und deshalb genau eben so weit von einander entfernt, wie

Fig. 37.



die Mittelpunkte der Kreise selbst; für jeden anderen in der Pupillarebene gelegenen Punkt ist der gegenseitige Abstand der beiden entoptischen Schatten auch gleich. — Für einen in der Hornhaut gelegenen Punkt 2 fallen die Schatten als 2′ und 2″ weiter auseinander, dagegen für einen hinter der Pupillarebene gelegenen Punkt 3 als 3′ und 3″ näher an einander. Bezeichnet man den Abstand der Mittelpunkte der beiden Kreise mit *d*, den Abstand der Pupillarebene von der Netzhaut mit *D*, die Entfernung der doppelten Schatten von einander mit *d′*, so findet sich die Entfernung des schattenwerfenden Objectes *D′*, da $\frac{d}{D} = \frac{d'}{D'}$ ist,

Fig. 38.



$$D' = \frac{D \cdot d'}{d}$$

D ist nach § 11 zu ermitteln und etwa = 19 Mm. gefunden worden; *d* und *d′* müssen gemessen werden. Donders misst die entoptischen Bilder in der Weise, dass er nach der Methode *à double vue* dieselben mit dem anderen Auge auf ein Blatt weissen Papiers projicirt sieht und auf demselben zeichnet oder misst. Ueber die Methode *à double vue* s. Snellen und Landolt dieses Handbuch III. 1, p. 110. Nach den hier angegebenen Methoden sind folgende entoptische Erscheinungen wahrgenommen worden:

a) Das entoptische Bild ist, da es durch den Schatten der Iris begrenzt wird,

meistens kreisrund, entsprechend der Form der Pupille, mit deren Verengung und Erweiterung es an Grösse ab- und zunimmt. Abweichungen der Pupille von der Kreisform treten auch im entoptischen Bilde hervor (LISTING, Beiträge p. 50, Fig. 20, 25 u. s. w.);

b) Punkte, Kreise, Streifen von Objecten auf der Hornhaut, Secret der Meibom'schen Drüsen, Schleimklümpchen, Thränenflüssigkeit (LISTING, Fig. 13);

c) Falten und wellenförmige Kräuselung der Hornhaut, namentlich wenn vorher ein Druck auf das Auge ausgeübt worden ist (LISTING, Fig. 14—16);

d) eine radienförmige Figur, von DONDERS als Linsenspectrum bezeichnet, auch von LISTING mehrfach abgebildet (DONDERS, Anomalien p. 169, Fig. 104. LISTING, Fig. 18, 32, 36);

e) verschiedene Körner, Kugeln, Fasern, Perlschnüre, Membranen des Glaskörpers (DONDERS, Fig. 100—103. LISTING, Fig. 26).

Beweglich sind von diesen entoptischen Bildern diejenigen, welche von den Objecten auf der Hornhautoberfläche herrühren, so wie Körner, Fasern und Membranen, welche im Glaskörper 0,5—3 Mm. vor der Netzhaut liegen. Unbeweglich sind verschiedene Körner, Kugeln und Flecken, so wie das Linsenspectrum.

DONDERS und DONCAN (De corporis vitrei structura. Diss. inaug. Trajecti ad Rhenum 1854) haben die Anwesenheit von Objecten, die diese entoptischen Erscheinungen hervorbringen können, durch mikroscopische Untersuchung des Glaskörpers an todten Augen constatirt. Mittelst des Augenspiegels lassen sich grössere entoptische Objecte gleichfalls nachweisen.

2) Wenn das Loch eines Schirmes, welches die entoptischen, bisher angegebenen Objecte sehen lässt, einige Zeit hin und her bewegt wird, so erscheint die sogenannte Purkinje'sche Aderfigur, Figur 39 (nach PURKINJE's Fig. 23), und von den übrigen entoptischen Objecten ist nichts mehr zu sehen. (PURKINJE, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie des Gesichtssinnes Bd. I, Beiträge zur Kenntniss des Sehens in subjectiver Hinsicht p. 89, Figur 23 und 24.) Noch rascher und deutlicher kommt dieselbe zum Vorschein, wenn man einen schmalen Spalt in der vorderen Brennebene hin und her bewegt und dabei nach einem gleichmässig hellen Grunde, z. B. dem Himmel blickt. Man sieht die um den gelben Fleck gelegenen Gefässverzweigungen auf hellem Grunde als dunkle Linien, welche oft mit einem helleren Rande verbrämt sind — oder als hellere Linien auf weniger hellem Grunde mit dunklerer Verbrämung — und in der Mitte den Schatten einer kreisförmigen Vertiefung, der *Fovea centralis* (BUROW, Müller's Archiv 1854, p. 166 beschreibt sie als konische Hervorragung, was indess nur unrichtige Deutung ist). Bei horizontaler Bewegung des Loches oder Spaltes sieht man die verticalen, bei verticaler Bewegung vorwiegend die horizontalen Gefässe. Die parallaktische Bewegung erscheint gleichsinnig mit der Bewegung des Loches. Dass nur bei bewegter Lichtquelle die Aderfigur und die Centralgrube sich abbilden, erklärt man aus einer rasch abnehmenden Reizbarkeit der Netzhautelemente.

Fig. 39.



3) Die Purkinje'sche Aderfigur erscheint ferner, wenn man im finstern Raume

eine Kerzenflamme wenige Zoll vor dem Auge langsam hin und her bewegt, und zwar als dunkle Gefässverzweigung auf hellem goldgelbem Grunde. Man kann durch Bewegung des Lichtes in verschiedener Richtung die Gefässe der Netzhaut von ihrer Eintrittsstelle in der *Papilla optica* aus weithin verfolgen. Man sieht nach dieser Methode die Figur am leichtesten und deutlichsten, wenn der Grund, auf den man blickt, möglichst lichtlos ist, z. B. in einem grossen Saale, dessen Wände durch die kleine Flamme kaum merklich beleuchtet werden. — Ueber die nach dieser, so wie nach der folgenden Methode zu beobachtende parallaktische Bewegung der Aderfigur soll sogleich gehandelt werden.

4) Die Purkinje'sche Aderfigur kann hervorgerufen werden durch intensive Beleuchtung der Sclerotica an einer möglichst beschränkten Stelle, z. B. indem das mittelst einer Convexlinse concentrirte Licht der Sonne oder einer Lampe auf die Sclerotica möglichst entfernt von der Hornhaut geworfen wird, und die beleuchtete Stelle gewechselt wird. Sehr geeignet zur Erzeugung eines hellen Lichtfleckes auf der Sklera ist auch ein Concavspiegel, z. B. der Augenspiegel. Die Aderfigur erscheint dann dunkel auf gelbrothem, oft goldglänzendem Grunde.

Bei allen Methoden zur Hervorbringung der Purkinje'schen Aderfigur ist es nothwendig, dass die Lichtquelle bewegt wird, oder dass Beleuchtung und Beschattung wechseln. Es rührt dies wohl daher, dass der Eindruck des Schattens so schwach ist, dass er nur unmittelbar bei oder nach seiner Entstehung empfunden werden kann, bald aber eine Abstumpfung der Netzhaut für die geringe Lichtdifferenz eintritt.

In Bezug auf die parallaktische Bewegung der Aderfigur ist aber noch zu bemerken erstens, dass die Bewegung der Aderfigur gleichsinnig ist mit der Bewegung der Lichtquelle, wenn die Figur durch Beleuchtung der Sclerotica mittelst einer Sammellinse, wenn sie durch Bewegung eines kleinen Loches vor der Pupille hervorgebracht wird, und endlich ist sie gleichsinnig, wenn die in der Nähe des Auges bewegte Kerzenflamme in einer den Meridianen des Augapfels

Fig. 40a.

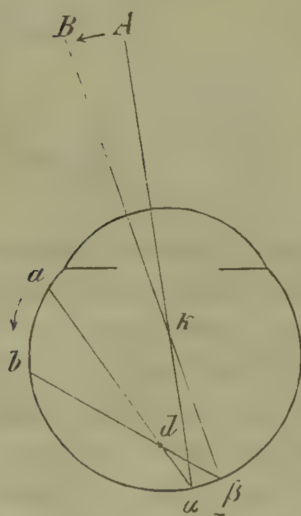


Fig. 40b.

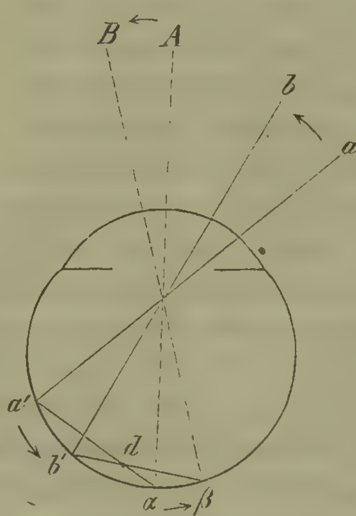
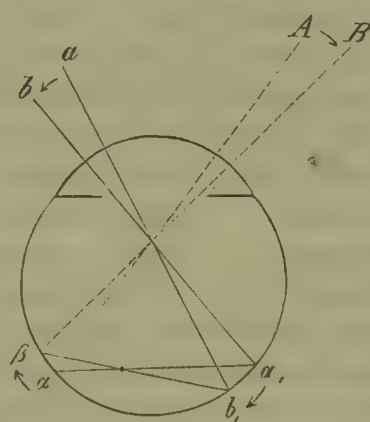


Fig. 40c.



entsprechenden Linie bewegt wird, ungleichsinnig aber, oder entgegengesetzt, wenn die Kerzenflamme in einem Parallelkreise bewegt wird. Nach Heinrich Müller's Theorie (Würzburger Verhandlungen 1855, Bd. V. p. 411) erklären sich

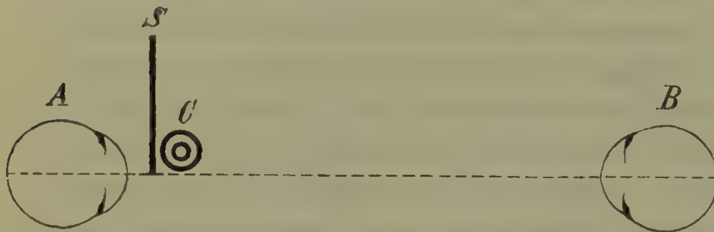
diese parallaktischen Bewegungen folgendermassen: ist in Figur 40[a] der Punkt *d* das Netzhautgefäss, *a* der leuchtende Punkt, welcher auf der Sklera sich nach *b* bewegt, so werden *α* und *β* die Schatten von *d* sein, welche sich entgegengesetzt bewegen. Da die Projection der Netzhautempfindungen nach aussen ungefähr durch den Knotenpunkt des Auges erfolgt (s. § 59), so bewegt sich die Projection des Gefässschattens von *A* nach *B*, also gleichsinnig mit dem hellen Punkte *a* und *b*. — Ist ferner in Figur 40[b] *a* die Lichtflamme, welche sich nach *b* bewegt, so sind *a′* und *b′* die Stellen im Innern des Auges, in welchem das Bild von der Kerzenflamme entworfen wird: diese Stellen *a′* und *b′* werden zu leuchtenden Punkten (entsprechend *a* und *b* in Figur 40[a]) und werfen die Gefässschatten *α* und *β*; diese, nach aussen projicirt, bewegen sich von *A* nach *B*, also gleichsinnig mit *a* und *b*. — Endlich sei in Figur 40[c] der Punkt *a* in der Ebene des Papieres gelegen, der Punkt *b* hinter derselben, so wird *b′* vor die Ebene, *β* hinter die Ebene, *B* vor die Ebene sich bewegen müssen, also die Bewegung von *A* nach *B* entgegengesetzt sein der Bewegung von *a* nach *b*. (cf. Helmholtz, Phys. Opt. p. 159. Aubert, Physiologie der Netzhaut p. 393.)

Zweitens ist zu bemerken, dass die Grösse der parallaktischen Bewegung abhängig ist von der Distanz des schattenwerfenden Gefässes bis zur empfindenden Netzhautschicht. Die Beobachtungen von Heinrich Müller haben denselben zu dem Schlusse geführt, dass die Stäbchen- und Zapfenschicht es sei, in welcher die Erregung der Nerventhätigkeit ihren Anfang nehme. Wir kommen darauf in § 57 zurück und bemerken hier nur, dass H. Müller's Beobachtungen über die parallaktische Bewegung der Aderfigur sehr gut mit den anatomischen Messungen über die Entfernung der Blutgefässe der Netzhaut von der Stäbchenschicht stimmen.

§ 21. **Reflexion des einfallenden Lichtes vom Augenhintergrunde.** (cf. Snellen und Landolt: Ophthalmoscopie III. 1, p. 93—173 dieses Handbuches.) Von dem Lichte, welches zum Auge gelangt, wird ein Theil von den brechenden Medien an den Oberflächen katoptrisch zurückgeworfen, ein anderer Theil wegen der unvollkommenen Durchsichtigkeit der brechenden Medien diffus zerstreut, ein dritter Theil, welcher bis zum Hintergrunde des Auges gelangt, theils von der Netzhaut und Chorioidea absorbirt, theils diffus wie von einer nicht spiegelnden Fläche reflectirt und geht zum Theil durch die Pupille nach aussen zurück. Wegen der Schwärze der Chorioidea wird der durch die Pupille zurückgehende Theil des Lichtes verhältnissmässig gering sein müssen, und schon aus diesem Grunde muss uns die Pupille eines beobachteten Auges lichtarm oder dunkel erscheinen. Dass uns die Pupille eines Auges dunkel erscheint, hat ausserdem seinen Grund in den Brechungsverhältnissen des Auges: der leuchtende Punkt und sein Bild, im accommodirten Auge auf der Grenze von Netzhaut und Chorioidea, sind conjugirte Punkte: die vom leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen gehen auf demselben Wege zu dem Bildpunkte, auf welchem die vom Bildpunkte ausgehenden Strahlen zum leuchtenden Punkte zurückkehren. Ist also ein beobachtetes Auge auf eine Lichtquelle gerichtet und für dieselbe accommodirt, so kann das von der Chorioidea zurückkehrende Licht nur nach der Lichtquelle wieder hingehen, nicht aber nach einem etwa neben der Lichtquelle befindlichen beobachtenden Auge. Ist das beobachtete Auge nach der Pupille des Beobachters gerichtet und für dieselbe accommodirt, so empfängt der Beobachter

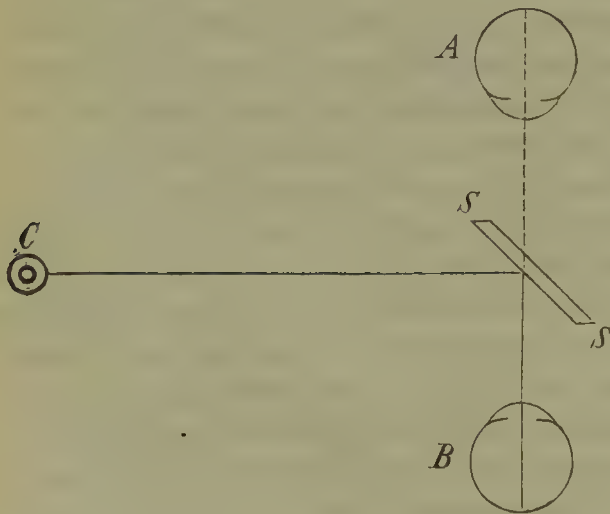
nur das von seiner eignen dunkeln Pupille in das beobachtete Auge gelangende und von dessen Chorioidea zurückkehrende Licht. Immer kommt also kein Licht aus der Pupille des beobachteten Auges in das des Beobachters. — Ist dagegen das beobachtete Auge nicht für das leuchtende Object accommodirt, so kann Licht in das Auge des Beobachters gelangen und unter günstigen Umständen so stark sein, dass die beobachtete Pupille hell oder leuchtend erscheint. Ist in Figur 41 *A* das Auge des Beobachters, *B* das beobachtete Auge, *C* eine helle Flamme und *S* ein Schirm, welcher das Auge des Beobachters vor der Blendung durch das helle Licht schützt, und sieht nun der Beobachter gerade an dem Schirme vorbei in das beobachtete Auge, so erscheint die Pupille des Auges *B* hell, wenn dasselbe nicht für die Flamme accommodirt ist, dunkel bei Accommodation für dieselbe. (Helmholtz, im Archiv für physiologische Heilkunde 1852, II. p. 827 und Physiol. Optik p. 166.)

Fig. 41.



Noch günstiger würden offenbar die Verhältnisse für das Leuchten der Pupille sein, wenn sich die helle Flamme auf der Linie befände, welche die Pupillencentra des beobachtenden und des beobachteten Auges verbindet. Bei der Anordnung in Figur 41 würde die zu beobachtende Pupille selbst von der undurchsichtigen Lichtflamme verdeckt werden, dagegen kann eine Anordnung, wie sie in Figur 42 skizzirt ist, das Leuchten der Pupille bewirken. Bei dieser Anordnung beobachteten Brücke (Müller's Archiv 1847, p. 225) und v. Erlach das Leuchten der Pupille, und Helmholtz gründete hierauf den Augenspiegel (Helmholtz, Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge, Berlin 1851). Ist *A* in Figur 42 wieder das Auge des Beobachters, *B* das beobachtete Auge, *C* die Lichtflamme und *S S* eine ebene Glasplatte, welche so gestellt ist, dass das von *C* kommende Licht zum Theil nach der Pupille des beobachteten Auges *B* hin gespiegelt wird, zum Theil allerdings durch die Platte hindurchgeht, so gelangt von der Flamme kein Licht in das Auge des Beobachters, als dasjenige, welches aus dem beobachteten Auge reflectirt wird. Helmholtz's Gedanke, welcher ihn zur Erfindung des Augenspiegels führte, war nun, dass, wenn der Hintergrund des Auges beleuchtet wäre, es möglich sein müsste, denselben deutlich zu sehen: da es nicht möglich ist, dass das Auge des Beobachters sich für den Hintergrund des zu beobachtenden Auges accommodiren kann, so ermöglichte Helmholtz dies durch Einschaltung von Glaslinsen: diese Zusammenstellung einer unbelegten Glas-

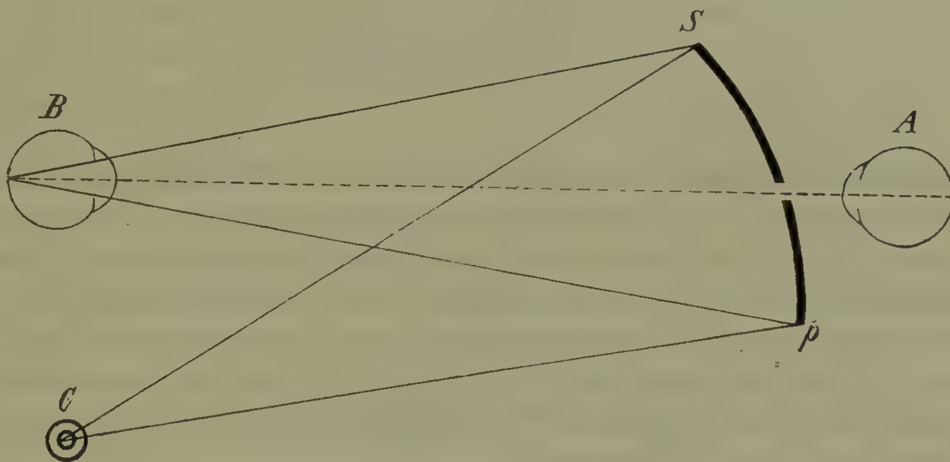
Fig. 42.



platte und einer vor das Auge des Beobachters zu bringenden Glaslinse, um für den Hintergrund des beobachteten Auges accommodiren zu können, war der erste Augenspiegel von Helmholtz.

Ein anderes Princip, den Hintergrund des Auges zu beleuchten, wurde nach Erfindung des Augenspiegels von Helmholtz zuerst von Ruete (Der Augenspiegel und das Optometer, Göttingen 1852) ersonnen: Ruete wendete statt der reflectirenden Glasplatte einen in der Mitte durchbohrten Hohlspiegel an, welcher das Licht in das beobachtete Auge reflectirt und durch dessen Durchbohrung der Beobachter blickt. In Figur 43 ist A das Auge des Beobachters, B das beobachtete Auge, C die Lichtflamme, Sp der in der Mitte durchbohrte Hohlspiegel, durch

Fig. 43.



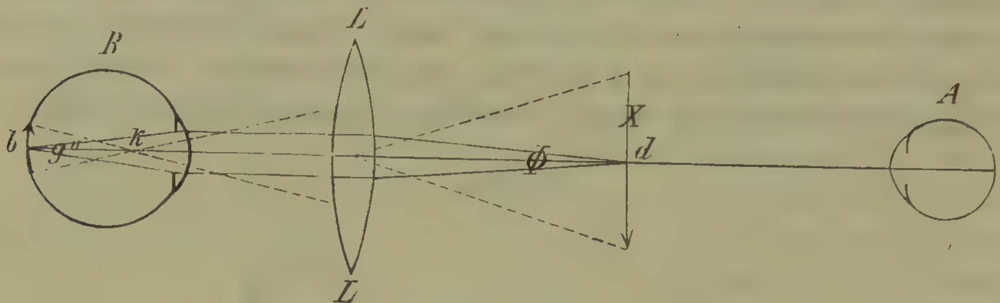
dessen centrales Loch der Beobachter A in das beobachtete Auge, welches von dem reflectirten Lichte sehr stark erhellt ist, blickt. Durch Glaslinsen, welche vor oder hinter dem Concavspiegel eingeschaltet werden, kann das Auge des Beobachters in den Stand gesetzt werden, den Hintergrund des beobachteten Auges deutlich zu sehen.

Die verschiedenen Formen der Augenspiegel, die durch sie zu erreichende Intensität der Beleuchtung, die Anordnungen der Linsen, um den Augenhintergrund im aufrechten und umgekehrten Bilde zu sehen, sind in dem Abschnitt »Ophthalmoscopie« III. 1, p. 93 von Snellen und Landolt ausführlich besprochen worden. Ich führe hier nur noch kurz die Methoden an, ein deutliches Bild von dem beleuchteten Augenhintergrunde zu erhalten.

Denken wir uns der Einfachheit wegen das beobachtete Auge emmetropisch und accommodationslos, so wird ein deutliches Bild von dem Augenhintergrunde in unendlich grosser, oder wenigstens erst in sehr grosser Entfernung entworfen werden. Der Beobachter würde ein deutliches Bild von dem Augenhintergrunde also erst sehen, wenn er sein Auge für das von dem Augenhintergrunde entworfene Bild accommodirte: dann wird aber wegen der grossen Entfernung der beiden Augen von einander das Bild des Augenhintergrundes so klein, dass doch nichts zu erkennen sein würde. Macht man nun die aus dem beobachteten Auge parallel austretenden Strahlen so stark convergent, dass das extraoculare Bild des Augenhintergrundes dicht vor dem beobachteten Auge liegt, so wird der Beobachter dies Bild in dem Nahepunkte seines Auges und in geringerer Entfernung

von dem Augenhintergrunde, als vorher sehen. Dies wird bewerkstelligt dadurch, dass man eine Convexlinse nahe vor das beobachtete Auge bringt, welche die Strahlen früher vereinigt, und ein reelles Bild in dem Brennpunkte der Linse entwirft. Ist in Figur 44 *B* das beobachtete, *A* das Beobachterauge, *L* die Convexlinse von der positiven Brennweite Φ und wird das Bild in dem Brennpunkte

Fig. 44.



d der Convexlinse entworfen, so zeigen die Pfeile das Bild von dem Hintergrunde des Auges an, welches von dem Beobachterauge gesehen wird. Seine Entfernung von der Linse ist gleich der Brennweite der Linse. Seine Grösse ergiebt sich aus der Entfernung des hinteren Knotenpunktes des beobachteten Auges von dem Augenhintergrunde und der Brennweite der Linse. Bezeichnen wir nach Snellen und Landolt p. 123 die Grösse des Objectes mit b, die des Linsenbildes mit X, die Brennweite der Linse mit Φ und die Entfernung des hinteren Knotenpunktes von der Netzhaut mit g'', so haben wir

$$X = \frac{b \cdot \Phi}{g''}$$

und wenn wir $b = 1$ setzen, so ergiebt sich die Vergrösserung $= \frac{\Phi}{g''}$. Wir haben g'' nach § 11 für Listing's schematisches Auge $= F_2 - K_2 = 22,6470 - 7,6398 = 15,0072$, wofür wir 15 Mm. setzen (s. § 12). Für eine Convexlinse von 30 Mm. Brennweite würde daher die Vergrösserung des Netzhauthintergrundes eine 2malige, für eine Linse von 60 Mm. Brennweite eine 4malige sein. Da die Brennweiten der Linsen nach Zollen gerechnet werden und durch $\frac{1}{\Phi}$ bezeichnet, so würde, da 1 Zoll = 27 Mm., eine Convexlinse $\frac{1}{2}$ eine 3,6malige Vergrösserung geben.

Man kann zweitens den Augenhintergrund eines emmetropischen accommodirten Auges deutlich sehen, wenn man die aus dem Auge austretenden Strahlen divergirend macht, so dass sie von einem hinter dem zu beobachtenden Hintergrunde gelegenen Punkte zu kommen scheinen, also ein virtuelles Bild von dem Hintergrunde entwirft. Dies wird erreicht, indem man zwischen das beobachtete und das Beobachterauge eine Concavlinse einschaltet von einer solchen negativen Brennweite, dass das Beobachterauge für die Entfernung des virtuellen Bildes accommodiren kann. Man könnte auch sagen: man vermindere durch eine Linse von negativer Brennweite die positive Brennweite des beobachteten Auges so weit, dass der hintere Brennpunkt in eine Entfernung rückt, für welche das Beobachterauge bequem sich accommodiren kann. Die Entfernung, in welcher das

virtuelle Bild liegt, wird abhängig sein von der Entfernung, für welche das Auge des Beobachters sich accommodirt, und diese wieder von der Brennweite der Concavlinse und ihrem Abstande von dem beobachteten Auge. Wäre bei Accommodationslosigkeit des beobachteten Auges das Auge des Beobachters auch für ∞ accommodirt, so würde die Brennweite der Linse auch $= \infty$ sein müssen, d. h. eine Linse überhaupt nicht erforderlich sein. Ist aber das Auge des Beobachters auf 300 Mm. accommodirt, so wird, wenn wir die Entfernung der Linse von dem Auge vernachlässigen, auch die negative Brennweite der Linse diesen Werth haben müssen, da parallele Strahlen durch eine solche Linse so divergent werden, als kämen sie von einem in 300 Mm. Entfernung gelegenen Punkte. — Die Vergrösserung des Bildes wird abhängig sein von der Grösse des Netzhautbildes in dem Auge des Beobachters und der Entfernung, in welche es projicirt wird: liegt das Bild in der Entfernung g'' hinter dem Knotenpunkte und wird es in eine Entfernung von 300 Mm. vor diesem Knotenpunkte projicirt, so muss die Vergrösserung betragen $\frac{300 \text{ Mm.}}{g''}$. Da wir $g'' = 15$ Mm. gesetzt haben, so würde die Vergrösserung eine 20malige sein. (cf. III. 1 dieses Handbuches p. 116 u. f.)

II. Empfindung des Lichtes.

§ 22. Die Entstehung der Lichtempfindungen. Wir haben, so weit unser Bewusstsein reicht, fortwährend Lichtempfindungen, denn die Empfindung der tiefsten Dunkelheit ist eben so gut eine Lichtempfindung wie die Empfindung einer weniger tiefen Dunkelheit und wie die Empfindung von Helligkeit. Schon Purkinje (Beiträge II. 1825, p. 9) sagt: »Das Finstere und Schwarze gehört eben so gut unter die sichtbaren Gegenstände, wie das Lichte und Farbige.« — Lichtempfindung kommt zum Bewusstsein, ohne dass Augen vorhanden sind: Kranke, welche die Augäpfel (etwa durch Verwundungen) verloren haben, sind keineswegs frei von Lichtempfindungen und können sogar von sehr intensiven Helligkeitsempfindungen gequält werden, ohne dass eine äussere Ursache, ein äusserer Reiz vorhanden ist. Die Lichtempfindungen müssen daher zu Stande kommen in Organen, welche nicht im Auge, sondern im Gehirn liegen — wir sind indess nicht im Stande, das lichtempfindende Organ zu begrenzen nach der Seite hin, auf welcher die Lichtempfindungen zum Bewusstsein kommen.

Anderseits finden wir, dass Lichtempfindungen zum Bewusstsein kommen, wenn Licht in unser Auge gelangt, und die Grenze, an welcher die Lichtätherwellen aufhören und in Nerventhätigkeit umgesetzt werden, können wir mit grosser Sicherheit in die Stäbchen- und Zapfenschicht der Netzhaut verlegen. Was zu unserem Bewusstsein kommt, ist also die Thätigkeit des mit der Netzhaut beginnenden und in das Gehirn sich erstreckenden Sehorganes oder der Sehsubstanz.*) Können wir einen Reiz nachweisen,

*) Im Folgenden verstehe ich unter »Netzhaut« nicht blos die Ausbreitung des Opticus im Augapfel, sondern die ganze Nervenmasse von der eigentlichen Netzhaut bis zum

welcher die Thätigkeit der Sehsubstanz verändert, so bezeichnen wir die Lichtempfindung als eine objective, oder das Licht, welches wir empfinden, als objectives — ist ein solcher Reiz nicht nachweisbar, so nennen wir die Lichtempfindung subjectiv. Offenbar sind alle Lichtempfindungen, als bewusst werdende Thätigkeit unserer Sehsubstanz, subjective, und im gegebenen speciellen Falle ist oft die Unterscheidung zwischen objectivem und subjectivem Lichte künstlich und willkürlich: blickt man z. B. auf ein weisses Quadrat, welches auf schwarzem Grunde liegt, einige Zeit starr hin, schliesst dann die Augen und bedeckt sie mit den Händen, so sieht man, ohne dass objectives Licht in das Auge dringt, ein dunkles Quadrat mit hellem Hofe auf weniger dunklem Grunde. Man nennt die Empfindung des geschlossenen Auges subjectiv, gleichwohl ist der vorhergegangene objective Reiz die Ursache der sogenannten subjectiven Lichtempfindung. — Dreht man eine Scheibe, deren eine halbe Kreisfläche schwarz, deren andere weiss ist, sehr schnell, so sieht man eine graue Scheibe und bezeichnet das entstehende Grau als ein objectives: gleichwohl ist das Object schwarz und weiss, aber nicht grau, und wird nur durch die Art unseres Empfindens grau. Dasselbe gilt von allen Farbenmischungen, welche ein Grau als Empfindung auslösen.

Die Lichtempfindungen sind ferner die einzigen zum Bewusstsein kommenden Empfindungen des Sehorgans, und J. Müller (Handbuch der Physiologie II. 1840, p. 254) bezeichnete sie daher als die specifische Energie desselben, da der Sehnerv keine andere Empfindung, als Lichtempfindung hervorbringen und eine ähnliche Empfindung durch keine anderen Nerven zum Bewusstsein gebracht werden kann. Was zur Hervorbringung einer Lichtempfindung in der Sehsubstanz für ein Process ablaufen muss, wissen wir nicht; nach Hering's Theorie (Zur Lehre vom Lichtsinn. V. in Wiener Akademie-Ber. 1874, Bd. 49, III. Abth. § 27) würde ein chemischer Process, ein Stoffwechsel in der Sehsubstanz die Grundlage des Empfindungsvorganges sein — etwas Näheres ist darüber nicht bekannt, namentlich fehlt noch jede Einsicht in den Mechanismus, durch welchen chemische oder physikalische Kräfte in die specifische Resultante, die Lichtempfindung, umgesetzt werden. Talma (Over licht-en kleurperceptie, Bybladen 14de Verslag, Nederl. Gasthuis voor ooglyders p. 129—176 im Auszuge in Nagel's Jahresbericht für Ophthalmologie für 1873, IV. p. 90) hat die Wirkung des Lichtes auf die Netzhaut als eine photochemische näher zu begründen gesucht und erklärt die Lichtperception für einen besonderen Chemismus in den Ganglienzellen des Gehirns, welcher angeregt wird in der Netzhaut und durch die Nerven elektromotorisch weiter geleitet. Es folgt daraus, dass wir über die Wirkung, welche objective auf die Sehsubstanz einwirkende Vorgänge ausüben, keinerlei Kenntniss haben können — dass endlich die Erkenntniss der Objecte nur so weit möglich ist, als dadurch Veränderungen besonderer, dem Objectiven nicht parallellaufender Art im Sehorgane hervorgebracht werden. Diese Verhältnisse hat schon Kant (Kritik der reinen Vernunft. Leipzig 1828, p. 43) klargelegt. Helmholtz (Physiol. Optik p. 194 und p. 442) bezeichnet daher unsere Sinnesempfindungen als Symbole des Objectiven: das Objective mit seinen Qualitäten

---

Centralorgan der Empfindung (nach dem Vorgange von Förster, Hemeralopie p. 26: s. Aubert, Physiologie der Netzhaut p. 6 und Hering a. a. O. § 25).

bildet also eine Reihe des Geschehens, welche zwar in Beziehung steht zu der Sinnesempfindung mit ihren Qualitäten, aber in einer bis jetzt nicht irgend bestimmbaren Beziehung zu den Qualitäten der Sinnesthätigkeit. — (Man vergleiche hierüber auch STEINBUCH, Beitrag zur Physiologie der Sinne, Nürnberg 1811.)

§ 22ª. Classificirung der Lichtempfindungen. Jede Lichtempfindung ist qualitativ von allen übrigen Lichtempfindungen verschieden: die Empfindung z. B. eines hellen Grau ist eine andere Qualität der Empfindung, als die eines dunkleren Grau oder als die eines Gelb u. s. w. — Wir ordnen aber der Uebersichtlichkeit und der Verständigung wegen die Empfindungen in gewissen, zum Theil nach der Verschiedenheit der vorausgesetzten Objecte oder objectiven Reize gewählten Richtungen. Wir unterscheiden zunächst Empfindungen, welche wir gleichzeitig haben, von Empfindungen, die wir nach einander haben, und indem wir, der specifischen Energie unseres Denkorganes gemäss, die Vorstellung des Raumes produciren (KANT, Kritik d. r. V. p. 30, § 3) und mit den Lichtempfindungen combiniren, gewinnen wir die Vorstellung, dass zwei Empfindungsqualitäten extensiv sind, d. h. gleichzeitig an verschiedenen Orten des Raumes ihr erregendes Object haben. Ferner unterscheiden wir die Empfindungsqualitäten nach der Wahrscheinlichkeit, ob ein Reiz von aussen her dieselben direct erregt, oder ein nicht äusserer Reiz dieselben veranlasst habe, als objective und subjective Empfindungen, ohne, wie schon erwähnt, dabei consequent zu verfahren. Drittens unterscheiden und ordnen wir Empfindungsqualitäten nach gewissen Aehnlichkeiten, die sie mit einander haben, unter Zuhülfenahme von Aehnlichkeiten und Verschiedenheiten, die wir an den Objecten anderweitig ermittelt haben, z. B. Intensitäten der Lichtempfindung, indem wir Empfindungsqualitäten, welche durch grössere oder geringere objective Lichtstärke hervorgebracht werden, zusammenreihen, und die ganze Reihe unterscheiden von einer anderen Gruppe von Empfindungsqualitäten, welche in jene Reihe nicht passen, den Farbenempfindungen. Für diese suchen wir auch wieder aus der Qualität der Reize oder aus theoretischen Annahmen Eintheilungsgründe.

Wir finden bei einer solchen Systematisirung unserer Gesichtsempfindungen mancherlei Schwierigkeiten, weil wir in den Empfindungsqualitäten selbst keinerlei Anhalt für die Systematisirung finden, und daher willkürlich, d. h. nach äusserlichen Bestimmungsgründen, Eintheilungsgründe aufzugreifen und in die unendliche Menge von gleichberechtigten Empfindungen gewaltsam einzuführen genöthigt sind.

Man unterscheidet 1) Lichtempfindungen, welche von der tiefsten Dunkelheit bis zur grössten Helligkeit eine Reihe bilden; 2) Lichtempfindungen, welche durch Licht von verschiedener Geschwindigkeit und daher verschiedener Brechbarkeit hervorgebracht zu werden pflegen; 3) Lichtempfindungen, welche als räumlich getrennt aufgefasst werden; 4) Lichtempfindungen, welche nicht durch objectives Licht hervorgebracht werden, sondern durch anderweitige Reize oder ohne nachweisbare Reize erregt werden. — Demgemäss nennen wir, insofern wir unsere Sinnesthätigkeiten benutzen zur Erkenntniss der objectiven Dinge 1) die Fähigkeit, verschiedene Helligkeiten zu unterscheiden, den Lichtsinn (AUBERT, A. f. O. III. 2, p. 63); 2) die Fähigkeit, Licht von verschiedener Brechbarkeit zu unterscheiden, den Farbensinn; 3) die Fähigkeit, Licht gleichzeitig und räum-

lich verschieden zu empfinden, den Raumsinn (E. H. Weber, Handwörterbuch der Physiologie III. 2, p. 533); 4) alle nicht durch objectives Licht erregten Lichtempfindungen bezeichnen wir als subjective Lichtempfindungen. (Purkinje, Beobachtungen zur Physiologie der Sinne I. Beiträge zur Kenntniss des Sehens in subjectiver Hinsicht.)

In welche dieser Kategorien man einzelne, specielle Lichtempfindungen bringt, wird immer mehr oder weniger willkürlich sein — wie bei jeder Systembildung muss man auch hier den Zusammenhang der Erscheinungen manchmal zerreissen, manchmal Erscheinungen zusammenbringen, welche bei verändertem Gesichtspunkte nicht mehr zusammengehören. Bei einer Zusammenstellung dessen, was wir überhaupt mit unserem Sehorgane empfinden, kann es nur die Aufgabe sein, das Erforschte möglichst einfach und übersichtlich zu ordnen.

Hering (Zur Lehre vom Lichtsinne IV. p. 2 u. 3 in Wiener Akad.-Ber. 1874, Bd. 49, Abth. 3, § 21) bezeichnet die Empfindungsreihe der Lichtintensitäten, also die Empfindungsreihe vom tiefsten Dunkel bis zum hellsten Weiss mit dem Ausdruck »schwarzweisse Empfindungsreihe«, indem er sehr richtig hervorhebt, dass man keinen Grund hat, Intensitäten der Lichtempfindung, welche der Empfindung von objectiven Lichtintensitäten entsprechen, anzunehmen. Der Ausdruck ist indess sprachlich nicht durchzuführen und man kann, ohne Missverständnisse zu erzeugen, dafür von »Empfindung der Lichtintensitäten« sprechen.

A. Der Lichtsinn.

§ 23. Der Lichtsinn oder die Empfindung von Lichtintensitäten. Die Empfindung tiefer Dunkelheit, welche wir haben, wenn kein objectives Licht auf unser Sehorgan einwirkt, kann ganz allmälig durch unendlich viele Stufen übergehen in die Empfindung grösster Helligkeit und umgekehrt. Wir würden die Empfindung tiefster Dunkelheit, wenn wir sie für unser gesammtes Sehorgan haben könnten, auch als Lichtempfindung ansehen müssen. Indess empfinden wir die tiefste Dunkelheit nur dann, wenn irgend eine Stelle unseres Sehorgans durch einen objectiven Lichtreiz getroffen wird; in einem vollständig finsteren Raum haben wir nicht die Empfindung des tiefsten Schwarz, sondern sehen verschiedene helle Nebel, Lichtfunken, Lichtlinien in vielfachem Wechsel. Lichtempfindung, im Sinne der Empfindung von Helligkeit, haben wir also, so weit unser Bewusstsein reicht, immer. Die grösste Helligkeit andererseits, etwa das directe Sonnenlicht, wirkt rasch zerstörend auf unser Sehorgan: wir kennen also weder das Maximum der stärksten Helligkeitsempfindung, noch das Maximum der Empfindung von Dunkelheit.

Zwischen diesen Extremen und zwar in unbestimmter Entfernung von beiden sind unsere Lichtempfindungen stetem Wechsel unterworfen: bei Abhaltung alles objectiven Lichtes nimmt die Lichtempfindung allmälig zu — bei Einwirkung objectiven Lichtes nimmt sie je nach der Intensität desselben bald zu, bald ab. Ob es einen Helligkeitsgrad giebt, bei welchem die Lichtempfindung constant bleibt, wissen wir bis jetzt nicht. Nach Hering's Theorie (a. a. O. V. Mittheilung, § 27) würde dieser fortwährende Wechsel darin seinen Grund haben, dass die Lichtempfindung Folge von Veränderungen der Sehsubstanz ist, welche sowohl durch den Ernährungsprocess oder den Assimilationsprocess derselben, als durch Zerstörung der Sehsubstanz in Folge von objectiven Lichtreizen, durch einen Dissimilationsprocess hervorgebracht werden; es würde denkbar sein,

dass Assimilation und Dissimilation einander ganz gleich würden und dann müsste die Lichtempfindung constant sein. Wie lange uns diese Constanz zum Bewusstsein kommen würde, ist nicht bestimmt, vielleicht auch nicht bestimmbar, wir können aber vermuthen, dass es nicht lange dauern würde, wenn wir die Erfahrungen in anderen Nervengebieten in Betracht ziehen. Ein gleichmässiger Ton, ein gleichmässiger Druck, eine gleichmässige Temperatur wird gewiss immer empfunden, aber die Empfindung gelangt nur kurze Zeit zu unserm Bewusstsein. Wir empfinden also immer nur Lichtdifferenzen, ebenso wie wir nur Temperaturdifferenzen empfinden (Auerbach, De irritamentis nervorum studia critica. Diss. inaug. Berolini 1849, p. 27).

Die Schwierigkeit, vielleicht Unmöglichkeit, eine constante, constant zu unserm Bewusstsein kommende Empfindung in unserm Sehorgane herzustellen, lässt es von vornherein unerreichbar erscheinen, die Grösse des Wechsels in unserer Empfindung zu bestimmen, welche eben noch wahrgenommen werden kann. Wir können dagegen einigermassen den kleinsten objectiven Lichtreiz messen, welchen unser Sehorgan empfinden kann, und wir können ausserdem messen, welche Unterschiede von objectiven Helligkeiten ein Sehorgan eben noch als verschieden empfinden kann. Wir bestimmen damit die Empfindlichkeit des Sehorganes für minimale objective Reizgrössen und die Empfindlichkeit für minimale Unterschiede von objectiven Lichtreizen. Das sind die Grenzen, welche Fechner in seiner Psychophysik (Elemente der Psychophysik, Leipzig 1860, I. p. 50 und Psychophysisches Grundgesetz, Leipziger Abhandlungen 1858, IV. p. 458) als absolute Reizschwelle und als Unterschiedsschwelle bezeichnet hat.

Da sich die Empfindlichkeit der Sehsubstanz fortwährend ändert, sowohl wenn Lichtreize auf dieselbe einwirken, als auch bei Abhaltung alles objectiven Lichtes, so ist zunächst festzustellen, welchen Gang die Empfindlichkeit oder Erregbarkeit des Sehorganes, oder wie wir gleichbedeutend damit sagen wollen, der Netzhaut nimmt, wenn kein objectiver Lichtreiz dieselbe erregt. Ich habe für die Veränderung der Empfindlichkeit der Netzhaut die Benennung »Adaptation der Netzhaut« eingeführt: wir werden zunächst den Gang derselben im lichtlosen Raume untersuchen. (Aubert, Physiologie der Netzhaut p. 25.)

§ 24. Adaptation der Netzhaut. Wir können die Veränderungen der Netzhautempfindlichkeit beim Aufenthalte im lichtlosen Raume untersuchen, wenn wir eine Lichtquelle von sehr geringer Intensität und von variabler, aber messbarer Intensität beobachten. Muss die Intensität der Lichtquelle vermindert werden, um an der Grenze der Wahrnehmbarkeit zu bleiben, so ergiebt sich eine Zunahme der Empfindlichkeit. Ich habe in einem Zimmer, von welchem jedes Licht möglichst sorgfältig ausgeschlossen war (Phys. d. Netzhaut, p. 27), als Maass für die Empfindlichkeit einen über die Elektroden eines Daniel'schen Elementes gespannten Platindraht, welcher bei einer gewissen Länge glühend erschien, benutzt und ihn immer um je 1 Mm. verlängert, sobald ich im Stande war, ihn eben zu sehen. Die Lichtintensitäten wurden dann in ihrem Verhältniss zu einander bestimmt mittelst grauer Gläser, deren Lichtabsorption bekannt war. Die Zeit, welche verging, bis der Draht leuchtend erschien, wurde von einem Gehülfen im Nebenzimmer abgelesen und notirt. Die Absorption der grauen Gläser

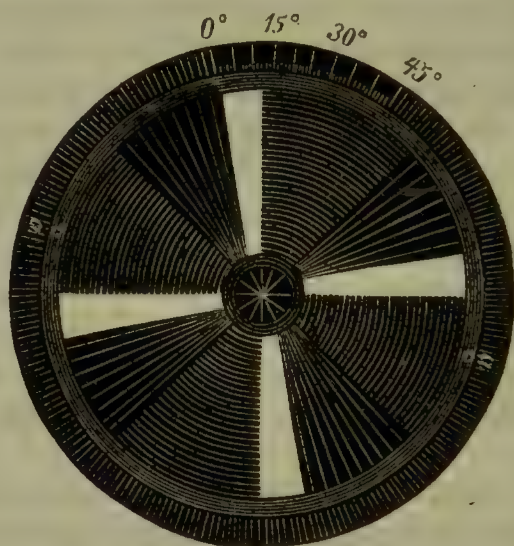
wurde theils mit Hülfe gleicher Schatten, theils mit dem sogleich zu beschreibenden Episkotister bestimmt. Lässt man zwei Schatten von einem Stabe auf eine weisse Tafel durch zwei helle Lichter werfen, vor deren einem sich das zu untersuchende Glas befindet, so werden bei gewissen Entfernungen der Lichter von der weissen Tafel die beiden Schatten gleich erscheinen, wenn das Licht, vor welchem sich das absorbirende Glas befindet, der Tafel näher steht, als das freie Licht. Der Quotient aus den Quadraten der Entfernungen der beiden Lichter giebt die Grösse der Lichtabsorption des Glases. Für eines der grauen Gläser ergab sich Gleichheit der Schatten, wenn das Licht hinter dem Glase 535 Mm., das freie Licht 2630 Mm. von der Tafel entfernt war, das erstere Licht also 4,9mal näher war als das andere; setzen wir die Intensität der Beleuchtung des näheren Lichtes ohne Glas = 100, so ergiebt die Intensität der Beleuchtung durch das fernere Licht = 4,166 . . .; das graue Glas lässt also nur 4,166% Licht durch und absorbirt 95,833% oder beinahe 96% Licht.

Der Episkotister (zuerst von Talbot angegeben s. Plateau in Poggendorff's Annalen 1833, Bd. 35, p. 459, von mir zu Messungen der Absorption benutzt) besteht aus zwei über einander liegenden Scheiben, an deren jeder 4 Octanten ausgeschnitten sind, wie in Figur 45, welche so über einander geschoben und eingestellt werden können, dass die soliden Octanten der einen Scheibe ein be-

Fig. 45.



Fig. 46.



liebiges Stück der Ausschnitte der anderen Scheibe verdecken, wie in Figur 46, und also nur durch die spaltenartigen Sectoren Licht hindurchgehen kann: werden die gegen einander festgeschraubten Scheiben rasch gedreht, so erscheinen sie wie ein graues Glas, und indem man nun den Sectorausschnitten eine solche Stellung giebt, dass ein durch die rotirenden Scheiben gesehenes Object um eben so viel verdunkelt erscheint, als wenn man sie durch das auf seine Lichtabsorption zu bestimmende graue Glas betrachtet, so findet man die Menge des durchgelassenen Lichtes: die Anzahl der Grade für die lichtdurchlassenden Sectoren, dividirt durch 360°, ergiebt die Menge des durchgehenden Lichtes. Für dasselbe Glas, welches nach der Schattenmethode 4,166% gab, fand ich mittelst des Episkotister 4,444% — eine Uebereinstimmung, welche genügend

ist, wenn man die Schwierigkeit, eine vollkommene Gleichheit zu beurtheilen, in Anschlag bringt (s. darüber in § 25).

Hat nun der Platindraht eine Länge, bei der er ohne Glas eben gesehen werden kann, und verkürzt man ihn darauf so weit, dass er durch das graue Glas eben gesehen werden kann, so entspricht die letztere Drahtlänge einer Lichtintensität, welche 24 bis 22 Mal grösser ist, als die erstere Drahtlänge. Nimmt man, was allerdings nicht ganz gerechtfertigt ist, an, dass innerhalb dieser Differenz der Drahtlänge, welche 6,5 Mm. im Mittel betrug, jede Verlängerung um 1 Mm. der anderen gleichwerthig, mithin $\frac{23}{6,5}$ eine Einheit ist, so wird die Verlängerung des Platindrahtes um je 1 Mm. einer Abnahme der Helligkeit um je 3,5 entsprechen. In der folgenden Tabelle X habe ich die Drahtlängen angegeben, bei denen nach der im ersten Stabe verzeichneten Zeit der Draht eben noch leuchtend erschien. Mit 0 ist die Zeit unmittelbar nach dem Eintritt ins finstere Zimmer bezeichnet.

Tabelle X.

Versuch I.		II.		III.		IV.	
Zeit.	Drahtlänge.	Zeit.	Drahtlänge.	Zeit.	Drahtlänge.	Zeit.	Drahtlänge.
0	19 Mm.	0	18 Mm.	0	19 Mm.	0	24 Mm.
1/2′	20 -	1/4′	19 -		20 -		25 -
1/2′	21 -	1/4′	20 -		21 -		26 -
1′	22 -	1/4′	21 -	2′	22 -	2′	27 -
1′	23 -	1/4′	22 -		23 -		28 -
2′	24 -	1/2′	23 -	2′	24 -		29 -
10′	25 -	3′	24 -	3′	25 -	1 1/2′	30 -
14′	26 -	5′	25 -	5′	26 -	2 1/2′	31 -
62′	27 -	38′	26 -	11′	27 -	10′	32 -
		85′	27 -	24′	28 -	48′	33 -
				78′	29 -	74′	34 -
91′	8 Mm.	132′	9 Mm.	125′	10 Mm.	138′	10 Mm.

Aus dieser Tabelle und aus Adaptationscurven, welche ich nach den Zahlen der Tabelle entworfen habe (Aubert, Physiol. d. Netzhaut, Figur 6 p. 37), ersieht man die Grösse und die Zunahme der Adaptation oder den Gang, welchen die Zunahme der Empfindlichkeit für minimale Lichtreize bei Abhaltung alles sonstigen Lichtes nimmt: die Empfindlichkeit für objective Lichtreize nimmt in den ersten Minuten rasch zu, dann immer langsamer und langsamer, und ist nach etwa 10 Minuten ungefähr 25 Mal, nach 2 Stunden ungefähr 35 Mal grösser als im Anfange.

Wenn der Platindraht eben anfängt sichtbar zu werden, so erscheint er nicht wie ein glühender Draht bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung, sondern farblos und matt, nicht glänzend. Ebenso erscheint nach längerem Aufenthalte im ganz finsteren Raume ein eiserner Tiegel mit eben noch schmelzendem oder eben erstarrendem Zink weiss leuchtend, gerade wie ein insolirter Porzellantiegel, was einer Temperatur von etwa 370° C. entsprechen würde. Nach Newton

(Gmelin, Handbuch der Chemie I. p. 163) wird Eisen im Dunkeln schwach-glühend bei 335° C., starkglühend bei 400°, in der Dämmerung leuchtend bei 474°, im Hellen leuchtend bei ungefähr 538°.

Um meine Befunde auf bekanntere Objecte reduciren zu können, liess ich in das finstre Zimmer Tageslicht durch eine sehr gleichmässige mattgeschliffene Glasplatte in sehr geringer Menge einfallen und beobachtete, der Diaphragma-Oeffnung den Rücken kehrend, einen kleinen Streifen gewöhnlichen weissen Papiers von $1/2$ Mm. Breite, welcher von der Lichtöffnung 5,5 M. entfernt war, in gewöhnlicher Sehweite. Unmittelbar nach dem Eintritt in das finstre Zimmer wurde der Papierstreifen sichtbar, wenn die Diaphragma-Oeffnung vor der Glasplatte 225 Mm. betrug, 1 Minute später wenn sie 100 Mm., 4 Minuten später wenn sie 25 Mm., 30 Minuten später wenn sie 6,25 Mm. betrug. Die Empfindlichkeit hatte in diesem Versuche um das 36fache zugenommen, also mehr als in den Versuchen mit dem Platindrahte. Setzen wir die Helligkeit der von diffusem Lichte an einem sehr hellen Tage beleuchteten matten Glastafel der Helligkeit einer weissen Wolke am Himmel, und weiter der des Mondes (der ja am Tageshimmel wie eine weisse Wolke erscheint) gleich, so würde bei der Entfernung des Objectes von der Lichtquelle, diese eine scheinbare Grösse (Gesichtswinkel) von etwa $1/300$ der Mondscheibe oder die zwei- bis dreifache Grösse des Jupiter in der Opposition gehabt haben — was eher zu hoch als zu niedrig gerechnet ist.

Wir schliessen hieran den Versuch, die Helligkeit der subjectiven Lichtempfindung im lichtlosen Raume zu bestimmen. Wenn wir nämlich im übrigens lichtlosen Gesichtsfelde ein eben merklich helles Object sehen, so könnten wir die empfundene Helligkeit auffassen als den Unterschied einer objectiven Helligkeit von der Helligkeit der subjectiven Lichtproduction, oder nach Fechner's Ausdruck der Helligkeit des »Augenschwarz«. (Fechner, Psychophysisches Gesetz in Abhandlungen der Leipziger Akademie 1858, IV. p. 482 und Psychophysik I. p. 168.) Die gemessenen minimalen Lichtreize würden dann nicht als absolute Reizgrössen aufzufassen sein, sondern als Unterschiedsreize und damit die Unterschiedsgrösse bestimmt sein zwischen dem subjectiven Lichtreize und dem kleinsten objectiven Reize. Der subjective Reiz (nach Hering's Auffassung die Assimilationsgrösse) würde seiner Grösse nach mit einem objectiven Lichtreize verglichen werden können, wenn wir die Unterschiede bestimmten, welche sehr kleine objective Lichtreize haben müssen, um empfunden werden zu können. Das ist annähernd möglich. Bei sehr geringer Helligkeit der Objecte muss nämlich der Unterschied der Lichtreize etwa $1/2$ betragen, wenn ein Unterschied in der Empfindung wahrgenommen werden soll: lassen wir dies Verhältniss auch für den minimalen Lichtreiz im Vergleich mit der subjectiven Helligkeitsempfindung gelten, so würde letztere einer Helligkeit gleichzusetzen sein, welche ein weisses Papier hat, wenn es von der Hälfte der Lichtstärke des Planeten Venus beleuchtet wird. — Welchem Wechsel aber die Helligkeit der subjectiven Lichtempfindung bei grösserer objectiver Helligkeit unterliegt, darüber fehlen bisher Bestimmungen.

Meine Versuche hierüber wurden in folgender Weise angestellt: ich befand mich in einem finsteren Zimmer vor einem Schirm von weissem Papier und so nahe an demselben, dass das ganze Gesichtsfeld von ihm ausgefüllt war. Der Schirm war 5 Meter entfernt von einer kleinen Diaphragma-Oeffnung im Laden

des Fensters, welche als Lichtquelle für den Schirm diente. Betrug die Oeffnung des Diaphragmas 1 Mm., so konnte ich in dem Momente, wo die Oeffnung des Diaphragmas verdeckt und wo sie frei wurde, eine Veränderung in der Helligkeit des Gesichtsfeldes bemerken.

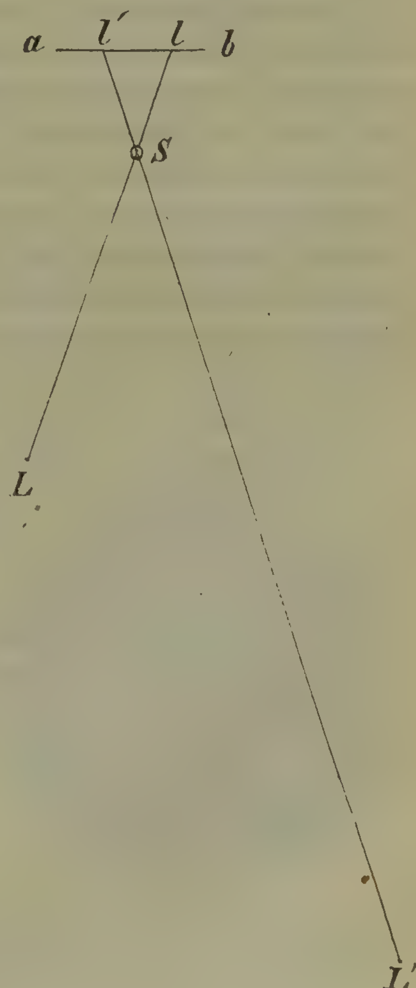
Nach Littrow (Wunder des Himmels 1837, p. 298) giebt Venus zur Zeit ihres höchsten Glanzes einen unter günstigen Umständen eben noch erkennbaren Schatten. Venus ist dann eine sichelförmige Fläche von 40 Bogensecunden Länge und 10″ Breite. 1 Mm. in 5 Meter Entfernung entspricht 41 Bogensecunden Seite.

Ferner zeigte sich in anderen Versuchen, dass ein Schatten auf weissem Papier bei geringster absoluter Helligkeit unterschieden werden konnte, wenn die Helligkeit des Schattens halb so gross war, als die des Grundes, also die Unterschiedsempfindlichkeit = $^1/_2$, wie aus dem folgenden § 25 hervorgehen wird. (cf. Physiologie der Netzhaut p. 25—49.)

§ 25. Empfindung von Helligkeitsunterschieden. — Wir können Helligkeitsdifferenzen unterscheiden, welche nach einander unsere Sehsubstanz afficiren, und Helligkeitsdifferenzen, welche gleichzeitig neben einander empfunden werden. Ueber die ersteren liegen keine methodischen Untersuchungen vor, ausser in Bezug auf indirectes Sehen (§ 27) und in Bezug auf binoculares Sehen (§ 29).

Untersuchungen über gleichzeitige Empfindung von Helligkeitsunterschieden scheint zuerst Bouguer (Optice de diversis luminis gradibus dimetiendis editum a de La Caille etc. Viennae 1762 [französische Ausgabe von 1760] p. 25. Sectio II. Articulus I.) angestellt zu haben, indem er vor eine weisse Tafel einen Stab stellte und von zwei Kerzen in verschiedener Entfernung Schatten auf die Tafel werfen liess. War die eine Kerze 8 Mal so weit von der Tafel entfernt, als die andere, so konnte er den von der entfernteren Kerze geworfenen Schatten nicht mehr wahrnehmen, und fügt hinzu: *Quantum ego quidem animadverti, magna luminis claritas rationem non immutabat, modo ne oculis vis inferatur.* Derartige Versuche scheint erst Volkmann auf Fechner's Wunsch (Psychophysik I. p. 150) wieder angestellt zu haben in gleicher Weise, wie Bouguer.

Fig. 47.



Befindet sich in Figur 47 vor einer weissen Tafel *ab* ein Stab *S* und sind *L* und *L′* gleichmässig brennende und leuchtende Kerzen, so werden auf die Tafel zwei Schatten, ein stärkerer *l* von der näheren und ein schwächerer *l′* von der entfernteren Flamme geworfen. Der schwächere Schatten, welcher allein in Betracht kommt, wird beleuchtet von der näheren Flamme, der schattenlose Grund der Tafel wird beleuchtet von beiden Flammen: es ist die Aufgabe, den schwächeren

Schatten durch Entfernung der Flamme so schwach zu machen, dass er nur eben noch von dem Grunde der Tafel unterschieden werden kann. Bezeichnet man die Intensität der Beleuchtung von L mit $J = \frac{1}{L l^2}$, der von L' mit $J' = \frac{1}{L' l'^2}$ (Figur 47), so ist die Helligkeit des unbeschatteten Grundes der Tafel $= J + J'$, die Helligkeit des schwächeren Schattens $= J$ und das Verhältniss der beiden Helligkeiten zu einander in Bezug auf J ist $= \frac{J + J'}{J}$, und die Differenz derselben, mit Beziehung auf die Grösse J bestimmt, $= \frac{J'}{J}$. Diesen Werth hat Bouguer $= \frac{1}{64}$, Volkmann $= \frac{1}{100}$ gefunden, indem sie die Intensität der schwächer beleuchtenden Flamme $= 1$ setzen.

Hat man bei Anstellung der Versuche dafür Sorge getragen, dass die beiden Flammen gleich und gleichmässig leuchten, dass der Beobachter nicht geblendet wird, dass durch die Zerstreuung des Lichtes im Zimmer nicht störende Reflexe auf die Tafel fallen, so giebt man der näheren Kerze eine bestimmte Stellung und Entfernung von der Tafel und lässt durch einen Gehülfen die zweite Kerze so weit entfernen, bis der von ihr geworfene Schatten nur eben noch sichtbar ist, und bei noch weiterer Entfernung ganz verschwindet. Indem man diese Grenze der Sichtbarkeit durch wiederholtes, abwechselndes Nähern und Entfernen der Kerze bestimmt, kommt man bald zu einer gewissen Sicherheit und zu übereinstimmenden Resultaten in Bezug auf die Entfernung, welche der Kerzenflamme zu geben ist.

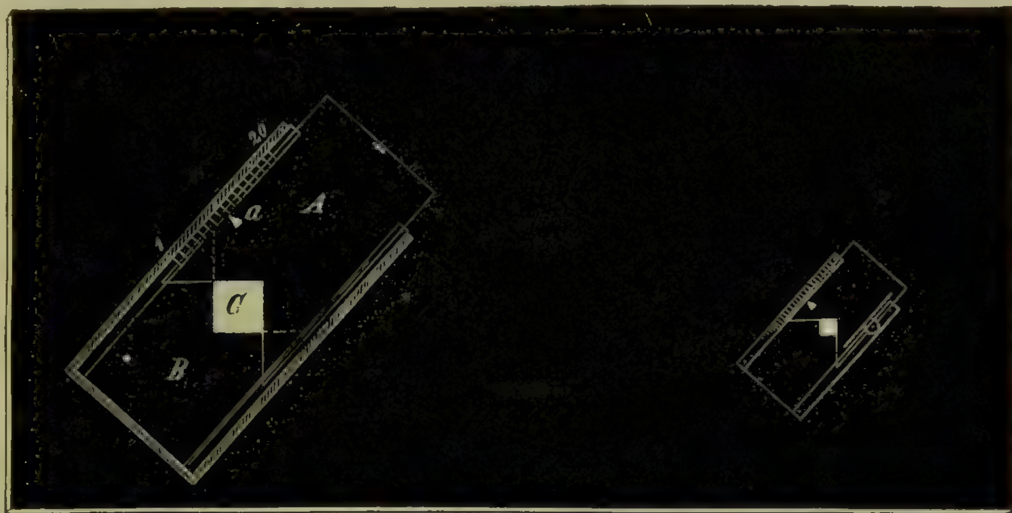
Ich habe nun im Widerspruch mit Bouguer und Volkmann gefunden (Physiologie der Netzhaut p. 56), dass die Fähigkeit, Lichtdifferenzen zu unterscheiden, oder die Unterschiedsempfindlichkeit (Fechner) abhängig ist von der absoluten Helligkeit der Beleuchtung, und zwar, dass mit der Abnahme der absoluten Helligkeit auch die Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede abnimmt. Dies ergiebt sich aus der folgenden Tabelle, für welche nur noch zu bemerken ist, dass die Intensität der Beleuchtung durch eine Kerzenflamme in 2000 Mm. Entfernung $= 1$ gesetzt und darauf die absoluten Intensitäten der Beleuchtung reducirt sind, welche der näheren Kerze zukam.

Tabelle XI.

Absolute Helligkeiten.	Entfernung der Kerze L.	Entfernung der Kerze L'.	Unterschieds-empfindlichkeit.
710	75 Mm.	960 Mm.	$\frac{1}{164}$
173	150 -	1770 -	$\frac{1}{140}$
100	200 -	2220 -	$\frac{1}{123}$
44	300 -	3090 -	$\frac{1}{106}$
25	400 -	4085 -	$\frac{1}{104}$
16	500 -	4850 -	$\frac{1}{94}$
7	750 -	7150 -	$\frac{1}{90}$
4	1000 -	8200 -	$\frac{1}{67}$
1	2000 -	11870 -	$\frac{1}{35}$

Bei weiterer Abnahme der absoluten Helligkeit wird die Unterschiedsempfindlichkeit immer geringer. Statt der Kerzen wendete ich in anderen Versuchsreihen zur Beleuchtung der Tafel Diaphragma-Oeffnungen im Laden des finstern Zimmers an, wie sie Figur 48 zeigt, welche sich hinter einer mattgeschliffenen

Fig. 48.



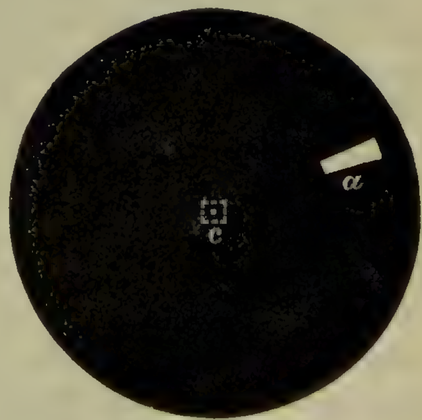
Glastafel befinden und beliebig vergrössert und verkleinert werden können. Eine Reduction auf die Helligkeit von den benutzten Kerzenflammen ist leicht ausführbar durch photometrische Bestimmung. Setzen wir mit Rücksicht auf die Versuchsverhältnisse die Intensität einer Kerzenflamme in 2000 Mm. Entfernung von derTafel = 13656, statt 1 in Tabelle IX, so erhalten wir folgende Unterschiedsempfindlichkeiten d bei Abnahme der Lichtintensitäten J:

$$J = 13656 - 5625 - 1306 - 56 - 5$$
$$d = {}^1/_{39} - {}^1/_{30} - {}^1/_{27} - {}^1/_{11} - {}^1/_{3}$$

Wegen des Näheren verweise ich auf meine Physiologie der Netzhaut p. 52 u. f.

Eine zweite Methode, die Wahrnehmbarkeit von Helligkeitsunterschieden zu bestimmen, beruht auf der Vermischung von Schwarz und Weiss durch raschen Wechsel der Eindrücke: Auf einer schwarzen Scheibe, welche in schnelle Rotation gesetzt werden kann, befindet sich ein weisser Sectorabschnitt, wie in Figur 49; bei Rotation der Scheibe erscheint dann ein grauer Kranz auf derselben, welcher heller ist, als der Grund der Scheibe. Diese Scheiben werden Masson'sche Scheiben genannt, da Masson (Etudes de photométrie électrique in Annales de Chimie et de Physique 1845, 3me ser. T. XIV. p. 129, im Auszuge bei Fechner, Psychophysik I. p. 152) sie zuerst angewendet hat. Kennt man das Verhältniss der Helligkeit des schwarzen zu dem weissen Papier, so kann man daraus die Helligkeitsdifferenz zwischen dem Grunde der Scheibe und dem Kranze berechnen. Theils zur Hervorbringung verschiedener absoluter Helligkeiten der Scheibe, theils zur Variation des Helligkeitsverhältnisses zwischen

Fig. 49.



Kranz und Grund habe ich nach dem Vorgange von MAXWELL bei farbigen Scheiben zur Farbenmischung (Transactions of the Royal Society of Edinburgh XXI. 1857, p. 275) einen radiären Schlitz an einer weissen und an einer schwarzen Scheibe angebracht (Figur 50ᵃ) und dieselben so durch einander gesteckt, wie es Figur 50ᵇ zeigt. Die Helligkeit des Grundes der Scheibe ist, wenn wir die Helligkeit des Weiss mit W, die des Schwarz mit S bezeichnen, $= (360^\circ - x^\circ)\ W + x^\circ\ S$,

Fig. 50ᵃ.



Fig. 50ᵇ.



und die Helligkeit des Kranzes, wenn a die Anzahl der Grade des Sectorabschnittes C bezeichnet und der Sector weiss auf schwarzer Scheibe ist $= (360^\circ - x^\circ + a^\circ)\ W + (x^\circ - a^\circ)\ S$; das Verhältniss der Helligkeiten zwischen Kranz und Grund ist also

$$\frac{J + J'}{J} = \frac{(x^\circ - a^\circ)\ S + (360^\circ - x^\circ + a^\circ)\ W}{(360^\circ - x^\circ)\ W + x^\circ\ S}$$

und die Differenz der beiden Helligkeiten, bezogen auf die Helligkeit des Grundes, also

$$\frac{J'}{J} = \frac{(x^\circ - a^\circ)\ S + (360^\circ - x^\circ + a^\circ)\ W - (360^\circ - x^\circ)\ W + x^\circ\ S}{(360^\circ - x^\circ)\ W + x^\circ\ S}$$

$$= \frac{a^\circ\ W - a^\circ\ S}{x^\circ\ S + (360^\circ - x^\circ)\ W}.$$

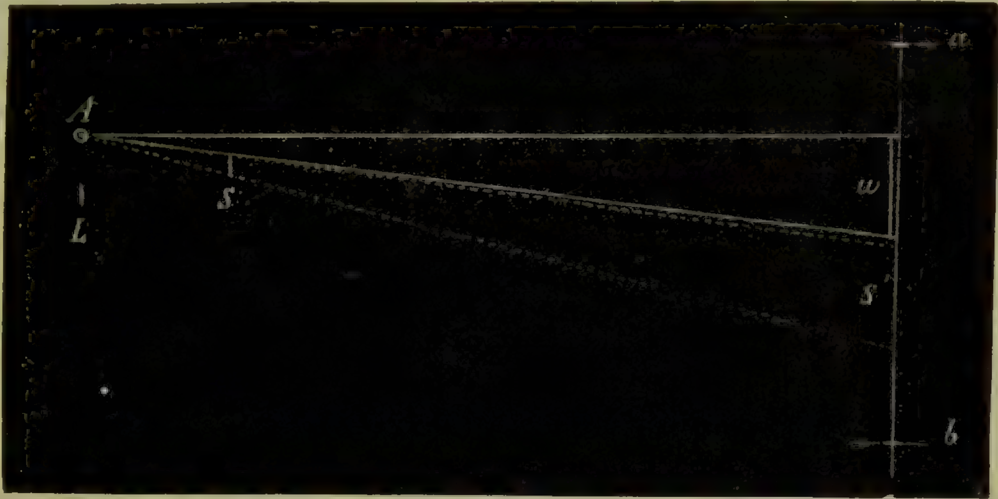
Die Differenz der Helligkeiten ist so lange zu variiren, bis der Kranz eben noch gesehen werden kann. Durch Vorschieben der weissen Scheibe kann x durch Anbringen von Sectoren verschiedener Grösse auf der schwarzen Scheibe a willkürlich verändert werden.

Eine Variation der absoluten Helligkeit der Scheibe ist also gegeben 1) durch verschiedene Mischungsverhältnisse von Schwarz und Weiss, 2) durch verschiedene Beleuchtung der rotirenden Scheiben.

Um die Helligkeit des Schwarz mit der Helligkeit des Weiss vergleichen und das Verhältniss beider numerisch ausdrücken zu können, verfuhr ich folgendermassen: auf einem schwarzen Grunde ab Figur 51 ist eine weisse Scheibe W befestigt, welche von dem Lichte L beleuchtet wird; eine entsprechend kleinere schwarze Scheibe S, welche dem Lichte genähert und von ihm entfernt werden kann, wird so lange verschoben, bis ihr auf den schwarzen Hintergrund projicirtes Bild S' eben so hell erscheint, wie die schwarze Scheibe, wenn das Auge sich neben dem Lichte in A befindet und für die Entfernung des Hintergrundes ab accommodirt ist. W und S' erscheinen also gleich hell, W ist aber von L weiter entfernt als S, daher die Beleuchtung von S intensiver ist und zwar um das Quadrat der Entfernung WL, dividirt durch das Quadrat der Entfernung SL, oder die Helligkeit von S ist $= \frac{WL^2}{LS^2}$. War $WL = 5700$ Mm., so fand ich

$LS = 750$ Mm. Die Beleuchtung von S war also $(7,6)^2 = 57$ Mal intensiver, als die von W, oder da beide Scheiben gleich hell erschienen, würde die weisse Scheibe 57 Mal heller sein müssen, als die schwarze Scheibe. Setzen wir die

Fig. 51.



Helligkeit der schwarzen Scheibe $S = 1$, so ist $W = 57\ S$ und $S = \frac{1}{57}\ W$.

Setzen wir diese Werthe in die obige Formel, so erhalten wir

$$\frac{J'}{J} = \frac{57\,a^0 - a^0}{x^0 + 57\,(360^0 - x^0)}$$

für die Differenz der Helligkeiten von Grund und Kranz der Scheiben, und damit die Unterschiedsempfindlichkeit, wenn a und x bestimmte Zahlenwerthe, die sich durch Ablesen der Grade finden.

Auch bei Anwendung dieser Methode findet sich, dass bei geringerer Helligkeit der Scheiben die Unterschiedsempfindlichkeit kleiner ist, und zwar erstens, wenn die Beleuchtung durch diffuses Tageslicht schwächer ist, zweitens, wenn die Helligkeit durch Beimischung von viel Schwarz auf der Scheibe selbst geringer ist. Auf der folgenden Tabelle XII gebe ich eine Zusammenstellung derartiger Versuchsreihen, die erste bei trübem, die zweite bei hellem Himmel, die dritte bei directer Sonnenbeleuchtung der Scheiben gewonnen.

Tabelle XII.

Sectorabschnitt.	I. Grauer Himmel.		II. Heller Himmel.		III. Sonnenschein.	
a	$(360^0 - x^0)\ W$	$\frac{J'}{J}$	$(360^0 - x^0)\ W$	$\frac{J'}{J}$	$(360^0 - x^0)\ W$	$\frac{J'}{J}$
$1/2^0$	54^0	$\frac{1}{121}$	73^0	$\frac{1}{158}$	70^0	$\frac{1}{153}$
1^0	145^0	$\frac{1}{151}$	180^0	$\frac{1}{186}$	140^0	$\frac{1}{146}$
$1\,1/2^0$	235^0	$\frac{1}{160}$	230^0	$\frac{1}{158}$	195^0	$\frac{1}{134}$
2^0	325^0	$\frac{1}{166}$	300^0	$\frac{1}{153}$	225^0	$\frac{1}{116}$
$2\,1/2^0$	—	—	—	—	250^0	$\frac{1}{102}$

Das Maximum der Unterschiedsempfindlichkeit wurde hier erreicht bei hellem diffusem Tageslichte, wenn ungefähr halb Schwarz und halb Weiss auf der Scheibe gemischt war, und beträgt $\frac{1}{186}$; war mehr Schwarz in der Mischung, die Scheibe also dunkler, so wurde die Unterschiedsempfindlichkeit geringer gefunden; ebenso nahm die Unterschiedsempfindlichkeit bei geringerer Helligkeit des diffusen Tageslichtes immer etwas ab, wie ein Vergleich der ersten und zweiten Reihe zeigt und was noch viel eclatanter hervortrat, wenn bei beschränktem Zutritt von Tageslicht Bestimmungen gemacht wurden. — Soweit sind die Versuche mit den Masson'schen Scheiben in Uebereinstimmung mit den Schattenversuchen.

Dagegen zeigt sich etwas neues: dass, wenn die Scheiben bei heller Tagesbeleuchtung in II weniger als die Hälfte Schwarz enthalten, auch wieder eine Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit eintritt. Diese Abnahme wird nun viel auffallender, wenn man die rotirenden Scheiben mit directem Sonnenlichte, wie in der Reihe III, beleuchtet; auch wird hier mit zunehmender Helligkeit der Scheibe in Folge der Zumischung von mehr Weiss die Unterschiedsempfindlichkeit immer geringer.

Das Maximum der Unterschiedsempfindlichkeit würde also etwa bei der Helligkeit des diffusen Tageslichtes erreicht werden und Helligkeiten unterschieden werden können, welche nur um $\frac{1}{186}$ von einander differiren; bei geringerer und bei grösserer Helligkeit dagegen eine Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit eintreten.

Aehnliche Resultate hat Helmholtz erhalten nach einer ähnlichen Versuchsmethode und giebt als Maximum $\frac{1}{167}$ an hellen Sommertagen an, bei directer Sonnenbeleuchtung $\frac{1}{150}$. (Helmholtz, Physiol. Optik p. 315.)

Mit diesen Resultaten sind auch die Erfahrungen des alltäglichen Lebens in Harmonie: wenn wir sehen wollen, ob Papier, Wäsche und dergleichen gleichmässig weiss sind, so bringen wir sie dicht ans Fenster, indem wir voraussetzen, dass etwaige Flecke besser unterschieden werden können bei grösserer als bei geringerer Helligkeit; wir lassen aber zu dieser Prüfung nicht die Sonne auf das Object scheinen, sondern vermeiden dabei geflissentlich die directe Sonnenbeleuchtung.

Bezüglich der genaueren Versuchs- und Literaturangaben verweise ich auf meine Physiologie der Netzhaut Cap. III und Fechner's Psychophysik.

§ 26. Empfindung von Helligkeitsunterschieden unter verschieden grossem Gesichtswinkel. — Die bisher besprochenen Versuche über die Empfindung von Helligkeitsunterschieden sind immer unter ungefähr gleichem Gesichtswinkel, nämlich in einer Entfernung des Beobachters von der Scheibe gleich 200 Mm. bis 300 Mm., angestellt worden. Erfahrungen des alltäglichen Lebens lehren aber, dass bei grossem Gesichtswinkel oder grosser Nähe des Objectes noch geringe Helligkeitsunterschiede bemerkt werden können, welche bei grösserer Entfernung des Objectes der Wahrnehmung entgehen.

Förster hat daher den Satz aufgestellt: »Helligkeit und Gesichtswinkel ergänzen einander.« (Hemeralopie etc. Breslau 1857, p. 1.) Nun hat aber schon Smith (Lehrbegriff der Optik von Robert Smith, übersetzt von Kästner 1755, p. 25) nachgewiesen, dass die Helligkeit des auf der Netzhaut entworfenen Bildes bei allen Entfernungen des Objectes vom Auge ein und dieselbe bleibt, ein Satz, welcher, wie auch J. Herschel (Vom Lichte p. 18) und Arago (Astronomie I. p. 139 und 186) auseinandergesetzt haben, für alle Objecte mit merkbarem Durchmesser, d. h. von Flächen, dagegen nicht von Punkten gilt.

Werden also die rotirenden Scheiben bei constanter absoluter Helligkeit aus verschiedenen Entfernungen beobachtet und die Helligkeitsunterschiede bestimmt, welche für die Wahrnehmbarkeit des Kranzes auf der Scheibe erforderlich sind, so ergiebt sich, dass bei zunehmender Entfernung des Beobachters von der Scheibe, d. h. also bei Abnahme des Gesichtswinkels für das Object der Helligkeitsunterschied grösser werden muss, wenn derselbe empfunden werden soll.

Für weisse Scheiben mit schwarzen Sectorabschnitten, welche nicht sehr stark, nämlich durch eine Stearinkerzenflamme in 2300 Mm. Entfernung von der Scheibe beleuchtet wurden, ergaben sich für verschiedene Entfernungen des Beobachters, also verschiedene Gesichtswinkel (die Grösse des Objectes dividirt durch die Grösse der Entfernung gleich der Tangente des Gesichtswinkels, und die Breite des Kranzes als Object = 25 Mm.) folgende Unterschiedsempfindlichkeiten:

Tabelle XIII *A*.

Entfernung.	Gesichtswinkel.	Unterschiedsempfindlichkeit.
200 Mm.	7°	$\frac{1}{72}$
2000 -	0° 43′	$\frac{1}{35}$
5000 -	0° 17′ 10″	$\frac{1}{23}$
13500 -	0° 6′ 22″	$\frac{1}{11}$

Wurde die absolute Helligkeit dadurch vermindert, dass statt der weissen Scheibe eine schwarze, also 57 Mal dunklere Scheibe genommen wurde, so sank die Unterschiedsempfindlichkeit sehr bedeutend und zwar in folgender Weise:

Tabelle XIII *B*.

Entfernung.	Gesichtswinkel.	Unterschiedsempfindlichkeit.
200 Mm.	7°	$\frac{1}{7}$
4000 -	0° 21′ 30″	$\frac{1}{1,3}$
6250 -	0° 13′ 47″	1,555
8750 -	0° 9′ 50″	3,111
13500 -	0° 6′ 22″	9,3

Bei der grössten Entfernung musste also der Kranz 9 Mal so hell sein, als der Grund der Scheibe, um gesehen werden zu können.

Der Einfluss des Gesichtswinkels oder der scheinbaren Grösse des Objectes macht sich also in sehr auffallender Weise geltend, und zwar bald in geringerem, bald in höherem Grade als die absolute Helligkeit: denn bei einer um das 57fache verminderten Helligkeit nimmt die Unterschiedsempfindlichkeit um das 10fache $\left(\text{von } \frac{1}{72} \text{ bis } \frac{1}{7}\right)$ ab, bei Abnahme des Gesichtswinkels um ungefähr das 60fache (von 7^0 bis $6' \, 22''$) aber nimmt sie nur um etwa das 6fache (Tabelle XI *A* von $\frac{1}{72}$ bis $\frac{1}{11}$), bei geringer absoluter Helligkeit aber um das 65fache ($7 \times 9{,}3$ in Tabelle XI *B*) ab.

Die Wahrnehmbarkeit eines Helligkeitsunterschiedes, oder wie man gewöhnlich sagt, die Sichtbarkeit eines Objectes ist also abhängig: 1) von der Grösse des Helligkeitsunterschiedes, 2) von der absoluten Helligkeit der Objecte, 3) von dem Gesichtswinkel derselben.

Es ergiebt sich hieraus ferner, dass die einzelnen Empfindungselemente der Netzhaut oder des Sehorgans keineswegs so von einander isolirt sein können, dass sie unabhängig von einander wären: denn wenn eine Erregung, welche ein einzelnes Netzhautelement trifft, nicht genügt, um eine Empfindung auszulösen, wohl aber, wenn eine Anzahl von Netzhautelementen getroffen wird, so werden wir uns vorstellen müssen, dass die Netzhautelemente einander unterstützen oder zusammenwirken, und die Summe ihrer einzelnen Erregungen zur Erregung einer Empfindung die erforderliche Grösse hat, während die einzelne Erregung zu klein ist. — Auch die Thatsache, dass eine Empfindung der Helligkeitsunterschiede bestimmte Grenzen hat, welche durch die Grösse der beiden Helligkeiten gesetzt werden, fordert die Annahme einer gegenseitigen Beeinflussung der Sehelemente, deren isolirte Erregbarkeit anderseits auch feststeht. Wir werden darauf in § 28 zurückzukommen haben.

Was weiter den Einfluss der absoluten Helligkeit auf die Unterschiedsempfindlichkeit betrifft, so ist derselbe sehr wunderbar und unerklärlich: wir würden von vornherein viel eher erwarten, dass bei gleichbleibendem Unterschiede der Helligkeiten auch der Unterschied der Empfindung gleichbliebe unabhängig von der Grösse der absoluten Helligkeit — ein Satz, welchen Fechner als psychophysisches Gesetz aufgestellt hat, mit welchem aber die obigen Versuchsresultate im Widerspruche sind. Der Einfluss der subjectiven Lichtempfindung, des Augenschwarz, welchen Fechner zur Erklärung der dem Gesetze widersprechenden Versuche herbeizieht, ist wohl zu gering, um die Erscheinungen der Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit bei Abnahme der absoluten Helligkeit zu erklären — indess scheint die Hering'sche Theorie (Zum Lichtsinn l. c. V. Mitth. § 28—30) geeignet, einen Ausgangspunkt für eine einstige Erklärung zu bieten. Nach Hering's Auffassung würde bei Abnahme der absoluten Helligkeit sich das Verhältniss des Assimilationsprocesses zu dem Dissimilationsprocesse voraussichtlich ändern, aber nicht proportional der Grösse der Reizverminderung, sondern in einem complicirteren Verhältnisse, indem die Dissimilation um x abnimmt, die Assimilation um y zunimmt für die eine der beiden Helligkeiten, für die andere Helligkeit aber die Dissimilation um ξ ab-, die Assimilation um v zunimmt. Die

Processe in der Sehsubstanz würden also nicht correlat sein den Veränderungen der Reizgrössen.

§ 27. Die Lichtempfindung in der Ausbreitung der Netzhaut (beim indirecten Sehen). — Wenn ein leuchtender Punkt nicht in der Sehaxe oder Gesichtslinie gelegen ist, sondern um eine Anzahl Grade von derselben entfernt, so muss der durch die Pupille in das Auge einfallende Lichtkegel einen um so kleineren Querschnitt haben, je grösser der Winkel ist, welchen die Axe des Lichtkegels mit der Gesichtslinie bildet. Ist in Figur 52 *gb* der Durchmesser der Pupille, und sind *a*, *a'*, *a''* leuchtende Punkte, so wird für *a* die Pupillarfläche zugleich die Basis des Lichtkegels *agb* sein, für *a'* aber wird ein zur Axe verticaler Querschnitt eine kleinere Fläche haben, als die Pupillarfläche, und für *a''* wird die Fläche noch kleiner werden. Da aber mit der Abnahme der Kegelbasis die Lichtmenge abnimmt, welche zur Netzhaut gelangt, so werden die von der *Fovea centralis* entfernteren Zonen der Netzhaut weniger Licht bekommen, als die Fovea. Das Sehen mit den peripherischen Theilen der Netzhaut bezeichnet man als indirectes Sehen (Purkinje, Neue Beiträge zur Kenntniss des Sehens II. 1825, p. 1), indem man den Blick nicht auf die gesehenen Objecte dirigirt, oder auch als *Visio obliqua* — wir würden also erwarten können, dass uns die indirect gesehenen Objecte dunkler erscheinen als die direct gesehenen. Das ist nach meinen Versuchen nicht der Fall, vielmehr bietet der Lichtsinn in der ganzen Ausbreitung der Netzhaut keine irgend erheblichen Verschiedenheiten dar. Dabei ist allerdings vorausgesetzt, dass der Adaptationszustand der Netzhaut in ihrer ganzen Ausdehnung der gleiche sei. Man muss weiter erwägen, dass, wenn auch die Lichtintensität des Netzhautbildes nach der Peripherie, der *Ora serrata* hin immer geringer wird, der verminderten Lichtmenge auch die Adaptation der peripherischen Netzhautzonen entsprechen wird, da ja diese Zonen zeitlebens entsprechend schwächere Lichteindrücke bekommen haben, als die Centralstelle. Die Adaptation der Netzhaut wird also überall entsprechend sein der ihr zukommenden Lichtstärke.

Fig. 52.



Beobachtet man ein Object, z. B. ein Quadratcentimeter weisses Papier in der Weise, dass man abwechselnd dasselbe eine bestimmte Zeit lang fixirt, dann einen 25° davon nach oben, unten, rechts oder links gelegenen Punkt ebenso lange fixirt und dabei dem indirect unter 25° gesehenen Papierquadrat die Aufmerksamkeit zuwendet, so bemerkt man im Ganzen nur äusserst geringe Helligkeitsdifferenzen, und zwar in dem Sinne, dass das Centrum der Netzhaut das Object etwas heller empfindet, als die peripherischen Theile. Das Nähere siehe bei Aubert, Physiologie der Netzhaut p. 92.

Von Seiten der Astronomen ist nun aber gerade umgekehrt behauptet worden, dass die Peripherie der Netzhaut für sehr schwache Lichteindrücke empfindlicher

sei, als das Centrum, und es ist in der That Praxis bei ihnen, sehr lichtschwache Sterne, wie z. B. die Trabanten des Uranus, so zu beobachten, dass sie an ihnen vorbeisehen, wie Arago (Astronomie I. p. 189) sagt: *que pour apercevoir un object très-peu lumineux, il faut ne pas le regarder.* Ich habe als wahrscheinlich hingestellt, dass das bessere Sehen sehr lichtschwacher Sterne auf den peripherischen Netzhautzonen darauf beruht, dass die peripherischen Theile sich bei astronomischen Beobachtungen in einem Adaptationszustande für grössere Dunkelheit befinden, da die peripherischen Theile von den Wandungen des Telescops fast gar kein Licht bekommen, die mehr central gelegenen Theile aber das hellere Gesichtsfeld des Telescops als Bild auffangen. So betrug bei d'Arrest (Ruete, Explicatio facti, quod minimae paullum lucentes stellae tantum peripheria retinae cerni possunt. Programma Lipsiae 1859) der Winkelabstand vom Centrum, unter welchem ein lichtschwacher Stern am deutlichsten erschien, einmal 11°, ein ander Mal 13° 2′ — über die Grösse des Sehfeldes ist aber nichts gesagt. — Eine wie grosse Rolle aber die Adaptation der Netzhaut beim Beobachten lichtschwacher Sterne spielt, ergiebt sich aus Arago's (Astronomie I. p. 144) Mittheilungen, wonach W. Herschel nach dem Durchgange eines Sternes zweiter Grösse durch das Gesichtsfeld des Telescops 20 Minuten bedurfte zum Ausruhen der Netzhaut (*pour que l'oeil reprit sa tranquillité*) und die schwächsten Trabanten des Uranus konnte der jüngere Herschel erst wahrnehmen, nachdem er eine Viertelstunde lang das Auge am Ocular gehabt und sorgfältig die Einwirkung jedes anderen Lichtes vermieden hatte. — Mir scheint nach alledem die Annahme nicht gerechtfertigt, dass die peripherischen Netzhautzonen an sich empfindlicher für schwache Lichteindrücke seien, als die centralen. — Ueber die hier gegebene Erklärung des Erkennens der Sterne beim indirecten Sehen vergleiche man indess die Beobachtungen von Hensen (Archiv für pathologische Anatomie Bd. 39, 1867, p. 480), welcher die Erscheinung aus einem lückenhaften Sehen der *Fovea centralis* erklärt.

§ 28. Einfluss der Lichtempfindung an einer Netzhautstelle auf die Lichtempfindung an anderen Netzhautstellen. (Contrast und Induction.) — Die Thatsache, dass ein dunkelgraues Object auf weissem Grunde dunkler erscheint, als auf schwarzem Grunde, dass ein sehr intensives Licht, welches plötzlich erscheint, helle Objecte, die es nicht beleuchtet, z. B. Lichtflammen sofort viel dunkler erscheinen lässt, diese und ähnliche Thatsachen (s. Fechner, Ueber die Contrastempfindung in Berichte der Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig 1860, p. 71, — Helmholtz, Physiol. Optik p. 411, — Aubert, Physiol. der Netzhaut p. 381) sind theils als eine Veränderung unserer Empfindung, theils als eine Veränderung unseres Urtheils angesehen worden. Es wird zu untersuchen sein, ob es Kriterien für die eine oder andere Auffassung giebt, oder, da das Urtheil als höhere Instanz erst herbeigezogen werden darf, wenn aus der Empfindung die Erscheinungen nicht erklärt werden können, ob wir Beobachtungen hierüber machen können, in welchen das Urtheil als ausgeschlossen angesehen werden muss. In § 26 haben wir schon gefunden, dass die Empfindung von Helligkeitsunterschieden zu der Annahme drängt, dass die empfindenden Elemente nicht völlig isolirt von einander sind, sondern sich gegenseitig beeinflussen. Ich habe ferner gefunden (Moleschott's Untersuchungen Bd. V. p. 287), dass beim Ueberspringen des elektrischen Funkens in einem

nicht vollständig dunklen Zimmer alle matt sichtbaren Objecte sogleich unsichtbar werden und das Gesichtsfeld tief dunkel erscheint, und aus dieser Erscheinung auf eine Mitbetheiligung der ganzen übrigen, nicht von dem elektrischen Funken erregten Netzhaut geschlossen. Bei meinen Adaptationsversuchen habe ich Aehnliches gefunden: sämmtliche subjective Lichterscheinungen in dem Gesichtsfelde verschwanden nämlich, wenn der Platindraht leuchtend gesehen wurde, oder wenn ich den Platinschwamm einer Döbereiner'schen Zündmaschine erglühen liess. (Physiol. der Netzhaut p. 334.) Da hier die durch den sehr schwachen objectiven Lichtreiz hervorgebrachte Erregung sehr gering, die subjective Lichtproduction aber meistens sehr lebhaft ist, so ergiebt sich, dass sehr schwache, auf eine kleine Stelle der Netzhaut beschränkte Reize eine Umstimmung der Empfindung in der übrigen Netzhaut bewirken, wobei offenbar jeder Einfluss von Urtheil, Vorstellung u. s. w. ausgeschlossen ist. Seitdem hat Mach (Archiv von Reichert und Dubois-Reymond 1865, p. 629, Wiener Akademie-Berichte 1866, Bd. 52, p. 303, Bd. 54, II. p. 131 und p. 393, 1868, Bd. 57, II. p. 11, Vierteljahrsschrift für Psychiatrie 1868) Beobachtungen mitgetheilt, aus welchen er schliesst, dass die Lichtempfindung an einer Stelle der Netzhaut beeinflusst wird durch die Lichtempfindung benachbarter Netzhautstellen, ohne dass dabei eine Betheiligung des Urtheils angenommen werden kann. Wird eine Scheibe mit der Zeichnung Figur 53 in schnelle Rotation gesetzt, so zeigt sich nicht eine der Mischung des Schwarz und Weiss entsprechende Abnahme der Helligkeit von der Peripherie nach dem Centrum (nach Massgabe des Talbot-Plateau'schen Gesetzes § 33), sondern es erscheinen dunklere Ringe an den Knickungen und Spitzen der weissen Sectoren. Desgleichen erscheinen, wenn man ein negatives Bild von der Scheibe anfertigt, in welchem das Weiss ist was in Figur 53 Schwarz ist und umgekehrt, an den Knickungen und Spitzen hellere Ringe, oder an rotirenden Cylindern mit entsprechender Zeichnung. Ferner hat Mach Zeichnungen entworfen, in denen ein helleres gleichmässiges Grau an ein an Helligkeit allmälig und gleichmässig abnehmendes Grau grenzt, bei welchem ein heller, durch nichts Objectives motivirter Streifen oder Grenzschein auftritt. Umgekehrt erscheint ein dunklerer Grenzschein, wenn das eine Grau allmälig an Helligkeit abnimmt.

Fig. 53.



Bei allen diesen Contrasterscheinungen ist eine Beeinflussung des Urtheils als Erklärungsgrund nicht nachweislich, wir können nicht angeben, was uns dazu bestimmen soll, die hellen oder dunkeln Grenzscheine in den Mach'schen

Versuchen auf Grund einer unrichtigen Beurtheilung der Helligkeitsverhältnisse zu sehen, oder in den von mir angegebenen Beobachtungen die subjectiven und die objectiven Erscheinungen nicht mehr zu sehen. Wenn man eine Veränderung der Empfindung, also eine Beeinflussung der Netzhaut durch die Erregung benachbarter Netzhauttheile annimmt, so finden darin sowohl die Contrasterscheinungen, als die Erfahrung, dass die räumliche Ausdehnung eines Lichtreizes auf der Netzhaut massgebend ist für seine Wahrnehmbarkeit, ihre Erklärung — und die anatomischen Verhältnisse der Netzhaut fordern durchaus nicht die Annahme einer vollständigen Isolirung der empfindenden Elemente, sondern sprechen, wie Mach (Bd. 52, p. 317) hervorhebt, vielmehr für einen anatomischen Zusammenhang derselben. Wir sind also nicht nur methodisch darauf gewiesen, die höhere Instanz des Urtheils erst herbeizuziehen, wenn die physiologische Erklärung unmöglich wird, sondern wir finden, dass eine Urtheilstäuschung gar keinen Anhalt für die Erklärung oder auch nur die Aneinanderreihung der Erscheinungen bietet. Unter die Annahme, dass eine Wechselwirkung benachbarter Netzhautstellen auf einander besteht, lassen sich aber in der That alle Contrasterscheinungen im Gebiete des Licht- und Farbensinnes nebst vielen anderen Erfahrungen subsumiren — ohne dass damit die Forderung der isolirten Leitung beeinträchtigt wird. Diese schon von Plateau (Poggendorff's Annalen 1834, Bd. 32, p. 543) aufgestellte Hypothese ist theils durch Fechner (Contrastempfindung l. c.) vielfach unterstützt, besonders aber von Hering (Wiener Akademie-Berichte 1872 Bd. 66, III., 1873 Bd. 68, III., 1874 Bd. 69, III.) durch viele neue Versuche festgestellt worden. Ausserdem wird diese Hypothese gefordert durch die Verbindung der sehr nahe verwandten Erscheinungen des gleichzeitigen oder simultanen Contrastes und des successiven Contrastes, sowie der simultanen und successiven Lichtinduction.

Unter Lichtinduction versteht Hering (l. c. § 15) entsprechend der Farbeninduction Brücke's eine Erhellung im Gesichtsfelde, wenn wir ein helles Object betrachten und nennt sie simultan, wenn die Erhellung während des Betrachtens des Objectes auftritt, successiv, wenn sie im Nachbilde auftritt — unter Contrast versteht man dagegen eine Verdunkelung im Gesichtsfelde unter den angegebenen Umständen, und zwar unter simultanem Contraste die Verdunkelung während der Beobachtung, unter successivem Contraste die Verdunkelung im Nachbilde. (cf. § 32.)

Hering betrachtet bei mässiger Beleuchtung mit beiden Augen unverrückten Blickes den irgendwie bezeichneten Mittelpunkt einer kleinen Scheibe von weissem Papier auf weit ausgedehntem dunkelm Grunde (schwarzem Sammet), schliesst dann die Augen und bedeckt sie: das dunkle Nachbild der weissen Scheibe ist dann von einem hellen Hofe — Lichthofe — umgeben, dessen Helligkeit von dem Nachbildrande nach der Peripherie hin allmälig abnimmt. Wird der Versuch so abgeändert, dass zwei Lichthöfe in einander greifen, so verstärken sie sich gegenseitig in ihrer Helligkeit — wenn man z. B. zwei weisse Quadrate in einer Entfernung von etwa 4 Mm. von einander auf schwarzen Sammet legt. Dass die Erscheinung des Lichthofes nicht auf einer Veränderung der Empfindung, sondern auf einer falschen Beurtheilung der Helligkeit beruhte, ist eine mindestens sehr gesuchte Annahme, welche man nur machen würde, wenn zwingende Gründe die Zulässigkeit der ersten Erklärung beseitigten. Gegen die Erklärung, dass der Lichthof auf einer Urtheilstäuschung beruhte, spricht nun aber eine Umkehr des Versuches: beobachtet man nämlich das Nachbild, welches eine dunkle Scheibe auf hellem Grunde liefert, so fehlt ein dem Lichthofe entsprechender dunkler Hof,

auch unter Umständen, unter denen das Nachbild sehr hell ist. Für die Beurtheilung der Helligkeitsverhältnisse scheint aber doch durch die Umkehrung des Versuches nichts geändert zu sein.

Dass ein Streifen schwarzen Papiers auf schwarzem Sammet heller erscheint, als auf weissem Papier, würde auf eine Urtheilstäuschung geschoben werden können: dass zwei gleiche Streifen schwarzen Papiers, von denen der eine auf der linken Seite des Gesichtsfeldes auf schwarzem Sammet, der andere auf der rechten Seite des Gesichtsfeldes auf weissem Papier liegt, gleichzeitig ohne Verrückung des Fixirpunktes, sehr ungleich an Helligkeit erscheinen, würde sich kaum aus einer falschen Beurtheilung der Helligkeiten erklären lassen. Fixirt man nun aber bei dieser Anordnung des Versuchs einen zwischen den beiden Streifen angebrachten Punkt eine halbe oder ganze Minute lang, so bemerkt man, dass die Helligkeitsdifferenz der beiden schwarzen Streifen sehr bedeutend abnimmt. Betrachtet man aber weiter bei geschlossenen und bedeckten Augen das Nachbild, so erscheint der im Vorbilde verdunkelte Streifen sehr hell auf dunklem Grunde, und der im Vorbilde erhellte Streifen sehr dunkel auf hellem Grunde, so dass die Helligkeitsdifferenz der beiden Streifen im Nachbilde wieder viel grösser ist, als im Vorbilde. Weiter zeigt sich nun aber bei den Phasen des Nachbildes, dass die Helligkeiten der Grundhälften und der Streifen in wechselndem Sinne zu- und abnehmen, und dass eine Phase eintritt, in welcher die Grundflächen gleiche Helligkeit, die beiden Streifen aber sowohl von einander, als von dem Grunde verschiedene Helligkeiten zeigen, d. h. einen Contrast, welcher durch die Verschiedenheit des Grundes gar nicht mehr motivirt wird.

Aus diesen von Hering (l. c. § 10) angegebenen Versuchen muss man mit Hering schliessen, dass die verschiedene Helligkeit der Streifennachbilder in einem verschiedenen Erregungszustande der entsprechenden Netzhautstellen ihren Grund haben müsse, und weiter: »dass im Vorbilde die objectiv gleichen Streifen deshalb verschieden hell erscheinen, weil die beiden entsprechenden Netzhautstellen sich wirklich in verschiedener Erregung befinden.« Damit ist denn die Annahme eines durch Urtheilstäuschung bewirkten Einflusses auf die Empfindungen ausgeschlossen.

Indem wir bezüglich anderer Versuche über Contrast und Lichtinduction auf Hering's Aufsätze verweisen, bemerken wir, dass ganz analoge Beobachtungen auch im Gebiete des Farbensinnes von Plateau (Poggendorff's Ann. 1834) und Fechner (ebendaselbst 1838) gemacht sind und die Hering'schen Versuche auch in das Farbige direct übersetzt werden können und ihre Geltung behalten, wenn man statt Schwarz Grün, bezw. Blau, statt Weiss Roth, bezw. Gelb substituirt. (cf. § 43.)

§ 29. Binoculare Lichtempfindung. Fechner's paradoxer Versuch. — Nach den Ermittelungen des vorigen Paragraph ist die Frage berechtigt, ob die Lichtempfindung verschieden ist, wenn nur eine oder wenn beide Netzhäute erregt werden? Schon Jurin (Smith-Kästner, Lehrbegriff der Optik 1755, p. 479) hat darüber Versuche angestellt, ob ein Object heller erscheint, wenn es mit beiden, als wenn es mit nur einem Auge gesehen wird, und ist zu dem Resultate gekommen, dass ein binocular gesehenes Object etwa um $^1/_{13}$ heller erscheint, als monocular gesehen. Harris und Brewster (Das Stereoscop 1857, p. 49, daselbst ist citirt Harris, Optics p. 117) haben Jurin's Versuche bestätigt und auch ich habe sie nach einer ganz anderen Versuchsmethode und neuerlich auch nach Jurin's Methode richtig gefunden. Ebenso Valerius (Poggendorff's Ann. 1873, Bd. 150, p. 17), welcher eine im Wesentlichen der sogleich zu beschreiben-

den Jurin'schen ähnliche, aber in Bezug auf die photometrische Bestimmung genauere Methode befolgte. Seine Resultate zeigen keine vollkommene Constanz; die Differenz beträgt nicht über $^1/_{15}$ bei Valerius.

Jurin beleuchtet einen weissen Papierstreifen durch zwei in gewisser Entfernung stehende gleich helle Lichter, so dass die rechte Hälfte des Papierstreifens von beiden Kerzen, die linke Hälfte in Folge des Vorschiebens eines Schirmes nur von der einen Kerze beleuchtet wird. Nun verdeckt er dem rechten Auge die hellere, von beiden Kerzen beleuchtete rechte Hälfte des Streifens mit einem Schirme und sieht also mit beiden Augen die dunklere Hälfte, mit dem linken Auge die hellere Hälfte: die linke dunklere Hälfte, mit beiden Augen gesehen, erscheint ungefähr gleich hell, wie die rechte hellere Hälfte, mit dem linken Auge allein gesehen, wenn das eine Licht etwa 3,4 Mal so weit entfernt ist als das andere, so dass die Helligkeiten der helleren und der dunkleren Hälfte sich etwa wie 13 zu 12 verhalten, die mit einem Auge gesehene also $^1/_{13}$ heller ist, als die mit beiden Augen gesehene.

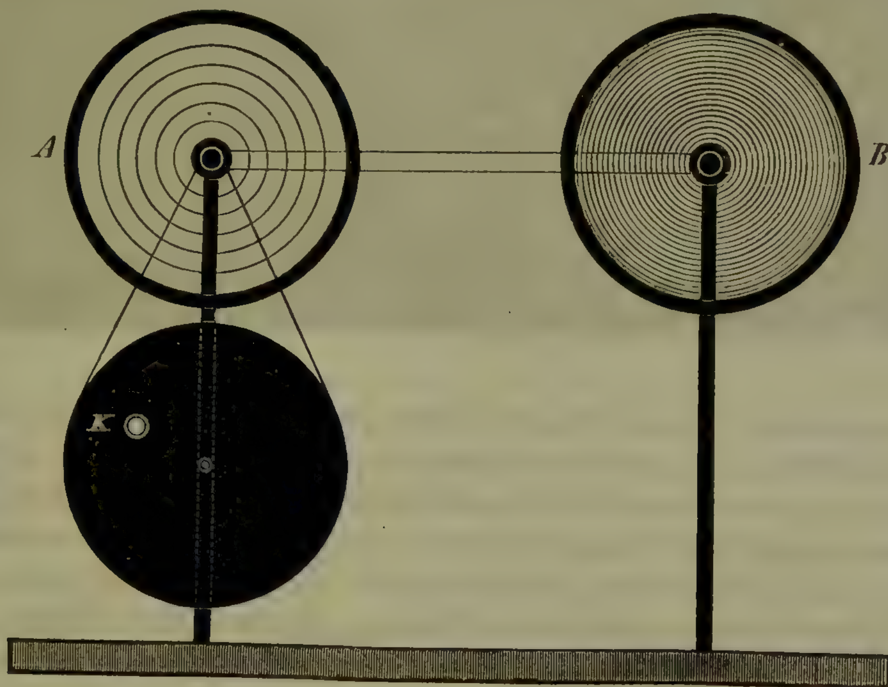
In Versuchen, welche Fechner (Binoculares Sehen in Abhandlungen der Akademie in Leipzig 1860, Bd. VII. p. 423) anstellen liess, wurde von den meisten Beobachtern beim Schliessen des einen Auges eine leichte Beschattung des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes mit gleich darauf folgender Wiedererhellung gefunden, also die gleiche Helligkeit beim binocularen, wie beim monocularen Sehen. In sogleich zu erwähnenden, nach Fechner's Methode angestellten Versuchen glaube ich (Physiol. der Netzhaut p. 287) indess gefunden zu haben, dass die Lichtintensität des Gesammtgesichtsfeldes etwas grösser ist, wenn beide Augen offen sind, als wenn das eine geschlossen ist. Nur darf man keine sehr grosse Lichtintensität in diesen Versuchen benutzen, sondern nur etwa die Helligkeit weissen Papiers bei diffusem Tageslichte im Zimmer.

Unter andern Umständen findet aber eine viel auffallendere Veränderung der Helligkeitsempfindung beim binocularen Sehen statt, und Fechner hat festgestellt, 1) dass, wenn man das Gesichtsfeld des einen Auges durch ein vorgehaltenes graues Glas verdunkelt und dann das gemeinschaftliche Gesichtsfeld oder ein weisses Object im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde betrachtet, dasselbe dunkler erscheint, als wenn man das mit dem grauen Glase bewaffnete Auge ganz schliesst. Fechner nennt diesen Versuch paradox, weil die totale Verdunkelung der einen Netzhaut erhellend auf das Gesammtgesichtsfeld wirkt; 2) tritt nahezu eine gleiche Verdunkelung des gemeinsamen Gesichtsfeldes ein, wenn man vor das eine Auge ein sehr wenig oder ein sehr viel Licht absorbirendes Glas (oder sonstige Vorrichtung) bringt, — diese Verdunkelungen des Gesammtgesichtsfeldes von gleicher Grösse bei ungleichen Componenten bezeichnet Fechner als conjugirte Intensitäten; bei einer gewissen Lichtabsorption des Glases tritt die maximale Verdunkelung im Gesammtgesichtsfelde auf: diesen Punkt nennt Fechner den Minimumpunkt. — Die Verdunkelung bleibt bei diesen Versuchen mehrere Sekunden lang ganz gleichmässig, so dass man genügend Zeit hat, sich über die Grösse derselben zu orientiren. Setzt man die Beobachtungen aber bei stark verdunkelnden Gläsern über eine halbe oder ganze Minute lang fort, so treten abwechselnde Erhellungen und Verdunkelungen, sogenannte Wettstreitsphänomene (cf. § 44) der Gesichtsfelder auf. (Hering, Beiträge zur Physiologie p. 310, — Schön und Mosso, Arch. f. Ophthalm. 1874, XX. 2, p. 269.) Will man mit Hering die Fechner'schen Versuche als Wettstreitsphänomene ansehen, so scheint mir damit nichts gewonnen — noch weniger kann ich aber der Behauptung von Helmholtz (Physiol. Optik p. 791) beipflichten, dass es sich bei Fechner's Versuchen nicht um eine Aenderung in der Empfindung des Lichtes, sondern nur

um eine Aenderung unseres Urtheils über die Körperfarbe des weissen Objectes handele. Durch Benutzung von Objecten mit markirten Linien oder Contouren wird offenbar eine Störung für die einfache Helligkeitsempfindung gesetzt. — Die Versuche scheinen mir vielmehr zu ergeben, dass eine Combination der beiderlei Empfindungen der Netzhäute eintritt, wenn die Differenz der Helligkeiten ein gewisses, durch den Versuch zu findendes Maass nicht überschreitet — über dieses Maass hinaus aber die Combinationsfähigkeit der Empfindungen abnimmt und endlich ganz aufhört. Von Einfluss auf die Combinationsfähigkeit ist die absolute Helligkeit des Objectes.

Zu meinen Bestimmungen über die Verdunkelungsgrösse, welche empfunden wird, wenn man einen Bogen gleichmässigen weissen Papiers in etwa 1 Meter Entfernung einige Sekunden lang betrachtet, habe ich mich des Episkotisters in der Form von Figur 54 bedient, vor welchem ein Schirm mit Oeffnungen für die beiden Augen des Beobachters befestigt war. Die Episkotister-

Fig. 54.

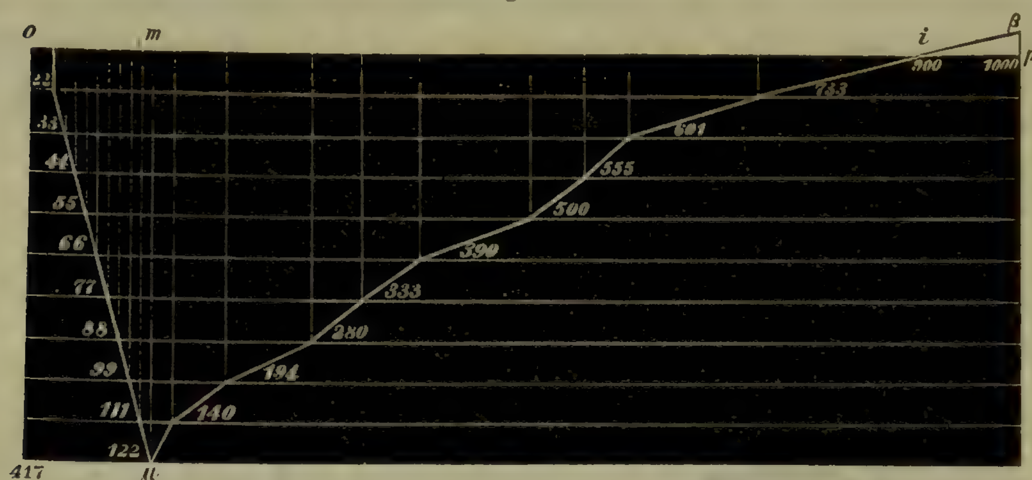


Scheibe *A* entspricht den helleren, wenig Licht absorbirenden Gläsern (Smoke-Gläsern) FECHNER's, die Episkotister-Scheibe *B* den dunkleren. Der Episkotister bietet den Vortheil einer genaueren Variation und Bestimmung der Helligkeiten und hat ausserdem den Vorzug, ein ganz farbloses Grau zu geben, während die Smoke-Gläser fast immer eine etwas verschiedene, für die Vergleichung der Helligkeiten sehr störende Färbung haben. Die stärkste Verdunkelung im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde trat bei mir unter den angegebenen Versuchsbedingungen ein, wenn das eine Auge frei war, für das andere 0,122 Theile des Lichtes durchgelassen wurden, oder wenn wir die Helligkeit des vollen Lichtes = 1000 setzen, bei einer Zulassung von 122 Theilen Licht für das eine Auge, wenn das andere frei war. Bei Zulassung von weniger Licht erschien das gemeinschaftliche Gesichtsfeld heller, und ebenso, wenn mehr Licht zugelassen wurde. Es müssen also Gesammthelligkeiten gefunden werden, welche einander gleich sind, wenn das eine Auge durch eine wenig, z. B. 55 Theile Licht durchlassende Scheibe, das andere durch eine viel, z. B. 500 Theile Licht durchlassende Scheibe sieht. FECHNER verzeichnet diese Zahlen auf einer Curve mit beliebiger Abscisse, deren grösste Ordinate der stärksten Verdunkelung im gemeinsamen Gesichtsfelde entspricht:

den sich so ergebenden niedrigsten Punkt der Curve nennt er den Minimumpunkt μ, die gleichen Helligkeiten im gemeinsamen Gesichtsfelde bei starker und schwacher Verdunkelung des einen Auges die conjugirten Punkte der Curve.

In der nach einer meiner Versuchsreihen entworfenen Curve Figur 55 ist *op* entsprechend der Helligkeitsempfindung des einen Auges, wenn das andere geschlossen ist, der Punkt β der über *op* aufsteigenden Ordinate bedeutet die etwas hellere Empfindung, wenn beide Augen offen sind, würde also $\frac{1}{10}$, also noch etwas mehr betragen, als Jurin, und fast ebensoviel, wie Harris gefunden hat. Von der absteigenden Curve bedeutet μ den Minimumpunkt, d. h. also die Empfindung grösster Dunkelheit im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde, wenn das

Fig. 55.



eine Auge vollständig frei ist. Dieser Punkt wurde erreicht, wenn für das andere Auge 122 pro Mille Licht vom Episkotister durchgelassen wurden und die Verdunkelung des Gesammtgesichtsfeldes war dann so gross, als wenn beim Sehen mit nur einem Auge 583 Tausendstel durchgelassen oder 417 Tausendstel des vollen Lichtes absorbirt wurden. Die Helligkeit des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes im Minimumpunkte ist also etwas kleiner, als die halbe Helligkeit des ganz unverdunkelten Gesichtsfeldes. Die Eintheilung der Ordinaten zwischen 0 und 417 ist durch gleichmässige Theilung der Ordinate erhalten, bedeutet also nicht absolute Helligkeiten. Die neben der Curve stehenden Zahlen bedeuten die Menge des durchgelassenen Lichtes, und die Punkte, in welchen die Curve von den Parallelen zur Abscisse geschnitten wird, bedeuten die conjugirten Punkte.

Etwas andere Zahlen habe ich erhalten, wenn ich statt weissen Papiers im diffusen Tageslichte als Object den Himmel, oder die Milchglasglocke einer Lampe und endlich die freie Flamme derselben betrachtete. Sie sind in der folgenden Tabelle entsprechend Figur 55 verzeichnet.

Tabelle XIV.

I. Papier.	II. Milchglas-glocke.	III. Himmel.	VI. Freie Flamme.
22 = 738	16 = 750	16 = 700	16 = 444
33 = 601	22 = 666	22 = 500	22 = 377
44 = 555	23 = 400	33 = 333	33 = 333
55 = 500	44 = 333	44 = 128	44 = 250
66 = 390	55 = 250	55 = 83	55 = 200
77 = 333	66 = 166	66	(66 .... 166)
88 = 280	(77 .... 140)	(333)	
99 = 194			
111 = 140			
122 (417)			

Für eine Erklärung dieser Empfindungen beim binocularen Sehen würde zunächst noch zu berücksichtigen sein, dass wir unsere Aufmerksamkeit dem Gesichtsfelde des einen Auges in verschiedenem Grade zuzuwenden fähig sind — Jeder wird diese Erfahrung gemacht haben, welcher z. B. beim Mikroscopiren beide Augen offen zu lassen pflegt oder sonstige Beobachtungen *à double vue* gemacht hat. Wenn wir diesen psychischen Einfluss möglichst eliminiren und durch Vermeidung von Schattirungen und Contouren im Gesichtsfelde Complicationen ausschliessen, so werden die Versuche aussagen, dass die Vorgänge in den beiden Netzhäuten sich zu einer Gesammtempfindung vereinigen, wenn die Vorgänge nicht sehr bedeutend von einander differiren, dass mit der Zunahme der Differenz aber eine Abnahme der Vereinigung Hand in Hand geht und dann die Empfindung desjenigen Auges überwiegt, welches von der grössten Helligkeit afficirt wird. Auf welche Art aber die Einwirkung der Vorgänge in den Netzhäuten zu Stande kommt, oder auf welchen Wegen dies geschieht, ist unbekannt; die Isolirung der Elemente der Sehsubstanz für das eine Auge von dem des anderen Auges wird darnach aber nicht als eine absolute angesehen werden können.

Wir werden beim Farbensinn (§ 44) und beim Raumsinn (§ 63) noch auf die Combination von Erregungen der beiden Netzhäute zurückkommen.

Zeitliche Verhältnisse beim Lichtsinne.

§ 30. Ansteigen und Absteigen der Empfindung während der Reizung. — Ein Empfindungsorgan, welches möglichst vollkommen den Zweck erfüllte, uns von den einwirkenden Reizen genau zu unterrichten, müsste mit dem Beginne des Reizes die ihm entsprechende volle Empfindung geben, während der Dauer des Reizes keine Veränderung in der Empfindung eintreten lassen und mit dem Aufhören des Reizes auch aufhören zu empfinden. Unser Sehorgan ist weit entfernt, diesen Anforderungen zu genügen: es lässt sich im Gegentheil nachweisen, dass, wenn ein Reiz auf das Empfindungsorgan einwirkt, die Empfindung sich in einer genau bestimmbaren Zeit von einem Minimum allmälig zu ihrer (relativ zu der Grösse des Reizes) maximalen Grösse entwickelt und dann wieder allmälig abnimmt.

Denken wir uns einen momentanen Reiz auf unsere Sehsubstanz wirkend, so läuft die durch ihn ausgelöste Empfindung in einer gewissen Zeit ab und zwar mit wechselnder Intensität. Stellen wir uns den Reiz als einen Punkt auf der Zeitabscisse vor, so ist der Ablauf der Empfindung eine Curve, deren Abscisse die Zeit, deren Ordinaten die Intensitäten der Empfindung ausdrücken und welche etwa die Form wie in Figur 57 hat, d. h. von 0 bis zum Maximum m ansteigt und dann allmälig wieder abfällt.

Dass ein Reiz erst nach endlicher Zeit die volle Empfindung erregt, hat zuerst Fick (Archiv für Anatomie und Physiologie 1863, p. 739) gezeigt: liess Fick einen Sector weissen Papiers mittelst eines Federapparates sehr schnell nur ein Mal vor dem Auge vorbeigehen, so erschien das weisse Papier so dunkel, wie schwarzes (dunkelgraues) Papier. Genauere Bestimmungen über das Ansteigen der Empfindungscurve oder, wie es Fick nennt, »das Anklingen des Reizes«, hat Exner (Wiener Akademie-Berichte 1868, Bd. 58, II. p. 601) nach einer von Helmholtz ersonnenen Methode gemacht. Dieselbe fusst auch auf der Ueberlegung, dass, wenn ein Reiz nach einer gewissen Zeit das Maximum der Empfindung hervorbringt, ein stärkerer Reiz schon nach kürzerer Zeit dieselbe Grösse der Empfindung bewirken muss. Erscheint also ein Object von der Helligkeit = 10 nach $^1/_6$ Sekunde am hellsten, so wird ein Object von der Helligkeit = 100 schon nach viel kürzerer Zeit, z. B. schon nach $\frac{1}{123}''$ in gleicher Helligkeit erscheinen. — Zur Ermittelung der Zeiten ist eine Vorrichtung erforderlich, welche das eine Object eine kürzere, das andere Object eine längere Zeit auf die Netzhaut einwirken, d. h. sichtbar werden lässt und eine genaue Bestimmung und Vergleichung der Helligkeiten, so wie eine genaue Zeitmessung ermöglicht.

Fig. 56.



Zur Zeitmessung benutzte Exner eine rotirende Scheibe von schwarzem Sammet von der Form Figur 56, bei welcher die Oeffnung sowohl des äusseren Sectors a, als die des inneren Sectors i stellbar ist. Rotirt die Scheibe in der Richtung des Pfeiles, so muss ein durch den äusseren Sector gesehenes Object länger sichtbar sein, als ein durch den inneren Sector sichtbares Object, und die Zeiten, in welchen die Objecte sichtbar werden, sich ergeben aus der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe und der Anzahl von Graden, welche die Sectorausschnitte haben. Die innere Scheibe wurde von Exner so lange verschoben, bis das längere Zeit sichtbare Object eben so hell erschien, als das kürzere Zeit sichtbare Object. Den Objecten muss endlich eine messbare und vergleichbare Helligkeit gegeben werden. — Wegen des Genaueren über

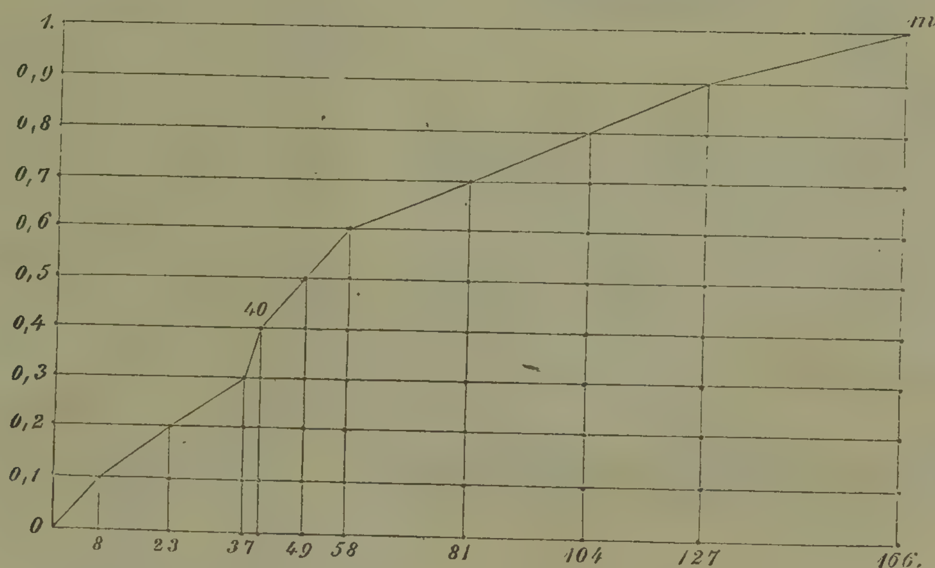
die Ausführung der Versuche und die Construction der Apparate verweisen wir auf das Original p. 614.

Nehmen wir an, das Maximum der Empfindung sei bei einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit und Grösse des äusseren Sectorausschnittes und bei gewisser Helligkeit des Objectes erreicht worden, was Exner in besonderen sogleich zu erwähnenden Versuchsreihen nachgewiesen hat, so wird ein helleres Object, welches nur beim Vorübergange des kleineren inneren Sectorausschnittes erscheint, noch nicht das Maximum der Empfindung erregt haben, wenn es von gleicher Helligkeit wie das dunklere, aber längere Zeit gesehene Object erscheint.

Ferner wird aber, um die Grösse der bei dem helleren Objecte erreichten Empfindungsintensität zu berechnen, auch die Zeit zu bestimmen sein, in welcher das hellere Object sein Empfindungsmaximum erregt, denn Exner hat auch nachgewiesen, dass bei grösserer Helligkeit des Objectes das Maximum der Empfindung früher erreicht wird, als bei geringerer Helligkeit desselben.

Mit Berücksichtigung dieses Factors hat Exner folgende Curve Figur 57 für das Anklingen der Empfindung gefunden, in welcher die Abscisse die Zeit in 0,001 Sekunden, die Ordinaten die erreichte Intensität der Empfindung be-

Fig. 57.



deuten, indem die willkürlich gewählte höchste Intensität in zehn gleiche Theile getheilt worden ist.

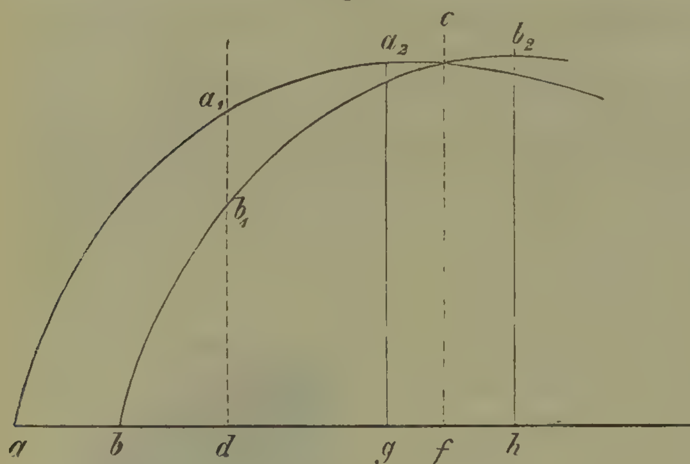
Zur Erreichung des Maximums der Empfindung waren also für die gegebene Helligkeit erforderlich 0,166 oder 1/6 Sekunden. Brücke (Wiener Akademie-Berichte 1864, Bd. 49, p. 26) hat nach einer anderen Methode, die wir später in § 31 erwähnen werden, und für eine andere Beleuchtungsgrösse 0,186″ gefunden. Die Curve verläuft, wenn wir die unvermeidlichen Versuchs- und Beobachtungsfehler in Anschlag bringen, ziemlich gleichmässig, und steigt im Ganzen anfangs sehr rasch, dann immer langsamer.

Exner hat nun das Maximum der Empfindung, welche ein Reiz erregen kann, von folgender Betrachtung ausgehend bestimmt: hat ein Reiz nach einer gewissen

Zeit das Maximum der Empfindung hervorgebracht, so tritt bei fortdauernder Wirkung des Reizes eine Abnahme der Empfindungsintensität ein: das Object erscheint dunkler, indem, wie man es ausdrückt, ein »negatives Nachbild« (§ 32 zur Geltung kommt. An das Maximum der Curve in Figur 57 würde sich also eine abfallende Curve, entsprechend der abnehmenden Helligkeitsempfindung, anschliessen. Wir kommen darauf sogleich zurück. — Um nun das nur momentan auftretende Maximum zu ermitteln, verfuhr Exner folgendermassen. Zwei gleich helle Objecte erregen kurz hinter einander gleichartige Stellen der Netzhaut; die Objecte werden nach messbarer Zeit gleichzeitig verdeckt: ist von dem ersten Reize das Maximum überschritten, von dem zweiten eben erreicht, so muss das erste Object dunkler erscheinen, als das zweite — ist von dem ersten das Maximum erreicht, so kann es von dem zweiten noch nicht erreicht sein, folglich muss das zweite Object dunkler erscheinen — wenn endlich beide Objecte gleich hell erscheinen, so müssen die Empfindungen beide sehr nahe dem Maximum sein.

Durch die Curve Figur 58 lässt sich der Gang der Erscheinungen leicht veranschaulichen; die Abscisse bedeute wieder die Zeit, die Ordinaten die Empfindungsintensitäten. Beginnt der eine (erste) Reiz in a und erreicht sein Maximum in a_2 und beginnt der andere (zweite) Reiz in b und erreicht sein Maximum in b_2, so wird, wenn die Reizung in $a_1 d$ abgeschnitten wird, die Empfindung von dem ersten Reize a stärker sein, nämlich $= a_1 d$, als die Empfindung von dem zweiten Reize b, nämlich $b_1 d$; dagegen wird in a_2 und b_2 die Empfindung beider Reize nicht mehr sehr differiren und beim Abschneiden in cf ganz gleich sein. Wandte nun Exner als ersten Reiz einen weissen Papierring auf schwarzem Sammet, als zweiten Reiz einen weissen Sector an, und liess beide sehr rasch, aber mit messbarer Geschwindigkeit vor dem Auge vorübergehen, so musste durch Verschiebung beider Objecte gegen einander und durch Verkleinerung oder Vergrösserung des weissen Sectors eine Stellung und eine Rotationsgeschwindigkeit gefunden werden, bei welcher der Ring eben so hell als der Sector erschien, mithin kein Ring auf dem Sector gesehen wurde. Unter dieser Bedingung war das Maximum der Empfindung nahezu erreicht. (Das Nähere s. bei Exner l. c. p. 614.)

Fig. 58.



Nach dieser Methode hat Exner die Maxima der Empfindung bei verschieden starken Beleuchtungen bestimmt und gefunden, dass bei zunehmender Reizgrösse (Beleuchtungsintensität) die zur Hervorbringung des Empfindungsmaximums erforderlichen Zeiten abnehmen, und zwar, dass wenn die Reizgrössen in geometrischer Progression zunehmen, die Zeiten, welche der Reiz zur Hervorbringung des Empfindungsmaximums braucht, in arithmetischer Progression abnehmen. Die Zahlen,

welche Exner in einer Versuchsreihe gefunden hat, sind in Tabelle XV. verzeichnet, in welcher also mit Rücksicht auf Figur 58 $a = b$ ist, der zweite Stab die Zeit ab, der dritte Stab die Zeit af, berechnet aus ag und ah ausdrückt.

Tabelle XV.

Reiz-grössen.	Zeit zwischen Beginn der Reize.	Mittel des Verschwindens der Empfindungsunterschiede.	Differenzen des Verschwindens.
1	0,0182	0,2873	
			0,0413
2	0,0174	0,2460	
			0,0460
3	0,0174	0,2000	
			0,0492
4	0,0174	0,1508	

Wie nach einer gewissen Dauer des Reizes die Empfindung grösster Helligkeit eintritt, so nimmt bei längerer Fortdauer des Reizes die Helligkeitsempfindung ab, d. h. das Object scheint an Helligkeit abzunehmen. Man hat diese schon lange bekannte Erscheinung als eine »Ermüdung« der Netzhaut aufgefasst oder auch die nach längerem Anschauen eines Objectes auftretende Abnahme der Helligkeit desselben als »Auftreten des negativen Nachbildes« gedeutet. Wenn unter Ermüdung nicht die Erklärung des Vorganges in Nerven verstanden, sondern nur damit die Thatsache des Abnehmens der Helligkeitsempfindung ausgedrückt werden soll, so werden wir von der Grösse und dem Gange der Netzhautermüdung sprechen dürfen.

Den Verlauf der Curve für die Netzhautermüdung hat C. F. Müller unter Fick's Leitung untersucht (Versuche über den Verlauf der Netzhautermüdung Diss. inaug. Zürich 1866). Müller blickte eine gemessene Zeit lang unverwandt auf ein weisses Papier und dann momentan auf ein mittelst eines Fallapparates rasch vorübergleitendes graues Papier, dessen Helligkeit im Verhältniss zu der Helligkeit des weissen Papiers photometrisch bestimmt war; er fand, dass ein weisses Papier von der Helligkeit = 1, wenn er es 5″ lang angesehen hatte, eben so erscheint, wie ein Papier von der Helligkeit 0,6; dass das helle Papier 30″ lang fixirt nur noch von der Helligkeit 0,35 bis 0,4 erscheint. Aus einer grösseren Reihe von Einzelversuchen fand er die allmälige Abnahme der Helligkeitsempfindung folgendermassen, wenn die Helligkeit des weissen Papiers = 1 gesetzt wird.

Ermüdungsdauer in Sekunden	3″	5″	10″	15″	20″	25″	30″
Scheinbare Helligkeit	0,72	0,66	0,49	0,46	0,43	0,37	0,35

Exner dagegen hat nach seiner etwas modificirten Methode eine viel steiler, wenigstens im Anfange, abfallende Curve erhalten; bei Exner würde die Helligkeitsempfindung nach 0,359″ auf 0,9, nach 0,486″ auf 0,8, nach 0,659″ auf 0,7 gesunken sein. Ob diese Differenz auf der Verschiedenheit der Versuchsmethode, oder der Beleuchtungsstärke, oder der Individualität beruht, — oder ob die Curven sich doch vereinigen lassen, wie Exner (p. 622) annimmt, lässt sich nach den vorliegenden Daten nicht entscheiden. Im Ganzen können wir annehmen, dass die Helligkeitsempfindung nach Erreichung des Maximums anfangs sehr rasch, dann immer langsamer abnimmt.

Veränderungen in der Form der Ermüdungscurve durch intensivere Beleuchtung hat MÜLLER nicht gefunden, obgleich die von ihm angewendeten Beleuchtungen ziemlich bedeutend differirt haben müssen, da er sowohl bei voller Zimmerbeleuchtung und hellem Wetter, als bei theilweise geschlossenen Fensterläden Versuche ausgeführt hat. — Dagegen hat MÜLLER eine Abnahme der Netzhautempfindlichkeit im Verlaufe des Tages constatirt, auf die auch ich schon aufmerksam gemacht hatte (AUBERT, Beiträge zur Physiologie der Netzhaut. Abhandlungen der Schlesischen Gesellschaft, Breslau 1861, p. 39 und Moleschott's Untersuchungen VIII. p. 252), welche MÜLLER so formulirt: »am Abende erscheint der Retina irgend ein Object nur in 0,49 derjenigen Helligkeit, in welcher es ihr am Morgen erschienen wäre.« Ferner erschien MÜLLER die weisse Scheibe

Morgens	7^h 30′	nach 20″	mit der Helligkeit von	0,43
-	9^h 30′	- 20″	-	0,59
-	12^h —	- 20″	-	0,70
Nachmittags	2^h 30′	- 20″	-	0,80
-	4^h 30′	- 20″	-	0,81

d. h. die Ermüdungscurve ändert sich mit den Tageszeiten sehr erheblich.

Es ist ferner zu erwähnen, dass MAXWELL (Edinburgh Journal 1856, IV. p. 337) und HELMHOLTZ (Physiol. Optik 420) so wie EXNER (l. c. p. 629) fanden, dass die *Fovea centralis* sich in Bezug auf das An- und Abklingen der Erregung anders verhält und zwar träger ist, als die übrige Netzhaut. Daran schliessen sich Beobachtungen, wonach Objecte, welche indirect gesehen werden, bei fester Fixation nach einigen Sekunden ganz verschwinden. Dies scheint zuerst TROXLER (Himly und Schmidt, Ophthalmologische Bibliothek 1802, II. Stück 2) beobachtet zu haben: er brachte Objecte von verschiedener Form und Farbe auf einem gleichmässigen Grunde an und fand, dass dieselben alsbald sich verloren und zwar zuerst das vom fixirten Punkte am weitesten entfernte. Auch PURKINJE (Beiträge I. p. 76 — II. p. 14), BREWSTER (Briefe über natürliche Magie an Walter Scott, Berlin 1835, p. 19 und Handbuch der Optik 1835, p. 81), FÖRSTER (Hemeralopie p. 13) und ich (Physiologie der Netzhaut p. 98) haben TROXLER'S Beobachtung bestätigt und unter sehr verschiedenen Verhältnissen das Verschwinden von Objecten von der Peripherie nach dem Centrum hin auftreten sehen. Das Nähere habe ich in meiner Physiologie der Netzhaut und in Poggendorff's Annalen Bd. 116 (1862), p. 267 angegeben.

§ 31. Dauer der Lichtempfindung nach dem Reize. Positive Nachbilder. — Wenn wir uns den gleichmässig wirkenden Reiz als eine gerade, parallel zur Abscisse verlaufende Linie vorstellen und die Empfindung während dessen eine auf- und dann wieder absteigende Curve bildet, so finden wir weiter noch eine Incongruenz zwischen Reiz und Empfindung darin, dass die Empfindung den Reiz überdauert, also bei plötzlichem Abfall der Reizlinie auf 0, die Empfindung keineswegs auch auf 0 fällt. Wenn wir z. B. ein Object während der fast momentanen Beleuchtung durch den elektrischen Funken sehen, so dauert die Empfindung noch viele Sekunden fort — eine rasch im Kreise bewegte glühende Kohle scheint einen gleichmässig hellen vollständigen Kreis zu bilden — ein Sector auf den Masson'schen Scheiben erscheint bei gewisser Rotationsgeschwindigkeit als ein gleichmässiger Kranz. PLATEAU (Annales de Chimie et de

Physique 1835, T. 58, p. 337) hat diese Erscheinungen als *persistance des impressions* bezeichnet, Brücke bezeichnet sie als positives Nachbild (Poggendorff's Annalen 1851, Bd. 84, p. 436), in welchem das hell ist, was im Objecte hell ist, während im negativen Nachbilde das hell ist, was im Objecte dunkel ist und umgekehrt. Verschiedene andere Benennungen für Nachbilder habe ich in meiner Physiologie der Netzhaut p. 347 und p. 354 zusammengestellt. Peiresc (Vita Peirescii von Gassendi. Edit. tertia 1658, p. 175) scheint zuerst positive Nachbilder gesehen zu haben, und zwar nachdem er auf ein Fenster geblickt hatte und dann die Augen schloss.

Wenn seitdem auch viele Bedingungen ermittelt worden sind, unter welchen positive Nachbilder auftreten und ihre Mitwirkung beim Sehen von Objecten nachgewiesen ist, so fehlt es anderseits noch an Bestimmungen und Messungen über ihre Intensität im Verhältniss zu der primären Empfindung und über ihre Dauer.

Man kann ganz allgemein sagen, dass positive Nachbilder beobachtet werden, wenn der Reiz (der primäre Eindruck) sehr kurze Zeit auf die Netzhaut eingewirkt hat und andere Reize vorher und nachher von der Netzhaut abgehalten worden sind. Schliesst und bedeckt man die Augen einige Sekunden lang, blickt dann ganz kurze Zeit, etwa eine Sekunde lang auf ein mehr oder weniger helles Object, z. B. in die Sonne, auf eine Kerzenflamme, auf ein Fensterkreuz, auf ein Papierblatt im diffusen Tageslichte oder bei künstlicher Beleuchtung und schliesst

Fig. 59.



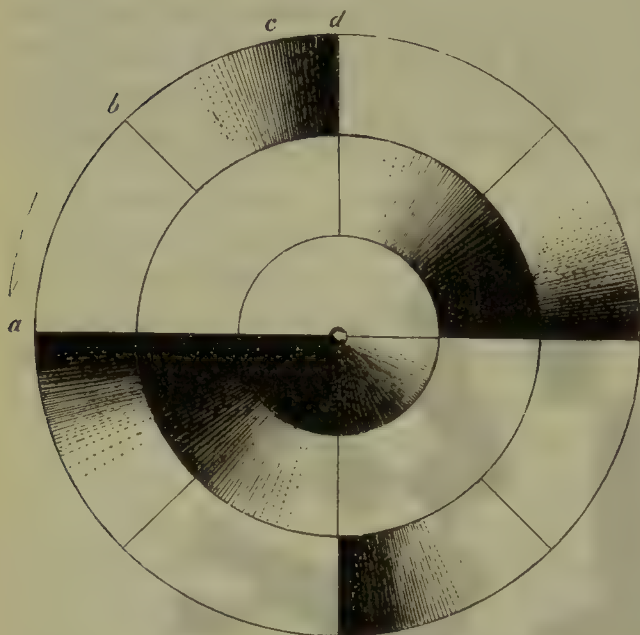
dann die Augen und bedeckt sie, ohne sie zu drücken, so sieht man das Object noch in gleicher Weise wie bei geöffneten Augen, aber matter und im Laufe

einiger Sekunden allmälig verblassend bis zum gänzlichen Verschwinden (Helmholtz, Bericht über die 34. Versammlung Deutscher Naturforscher, Karlsruhe 1858). Dasselbe ist der Fall, wenn man im finsteren oder verdunkelten Zimmer den überspringenden elektrischen Funken direct, oder die von ihm beleuchteten Objecte gesehen hat. (Aubert, Moleschott's Untersuchungen V. p. 279.)

Positive Nachbilder, oder eine Fortdauer der Empfindung nach Aufhören des primären Eindruckes, treten ferner auf, wenn man Scheiben, welche abwechselnd schwarze und weisse Sectoren haben, mit einer gewissen Geschwindigkeit rotiren lässt, oder überhaupt, wenn ein helles oder leuchtendes Object sich auf dunklem Grunde mit einer gewissen Geschwindigkeit bewegt: eine glühende Kohle im Finstern geschwungen erscheint als ein Streifen oder auch als ein Ring, ebenso eine helle Fläche auf einer schwarzen rotirenden Scheibe.

Auf die Erscheinungen, welche eine im Finstern geschwungene glühende Kohle darbietet, werden wir noch zurückkommen in § 46, die Entwickelung des positiven Nachbildes und seine Combination mit dem primären Eindrucke ist von Brücke (Wiener Akademie-Berichte 1864, Bd. 49, p. 1) einer besonderen Untersuchung unterworfen worden. Brücke findet nämlich, dass Scheiben, wie Figur 59, bei gewisser Rotationsgeschwindigkeit verschiedene Helligkeiten der einzelnen Ringe darbieten, und zwar, dass derjenige Ring am hellsten erscheint, bei welchem der weisse Sector 17,6 Mal in der Sekunde wiederkehrt. Bei schnellerer Aufeinanderfolge erscheint der Ring dunkler, bei langsamerer Folge unterbrochen weiss und schwarz und zwar so wie in Figur 60 versucht worden ist, darzustellen, dass nämlich die weissen Sectoren nur zum Theil über die schwarzen übergreifen oder die Empfindung des Weiss schon aufhört, bevor noch der schwarze Sector vorbeigegangen ist. Bei 17,6 Wiederholungen in der Sekunde dauert aber die Nachempfindung oder das positive Nachbild des Weiss so lange, dass der schwarze Sector vorübergehen kann und der Rest des positiven Nachbildes noch vorhanden ist, wenn der nächstfolgende weisse Sector erregend wirkt: unter diesen Umständen hat 1) die primäre Erregung Zeit genug, das Maximum der Empfindung auszulösen, 2) das positive Nachbild so lange Dauer, dass der schwarze Sector bei grosser Lebhaftigkeit des Nachbildes vorbeigeht; daher kann das Schwarz am wenigsten zur Geltung kommen. Bei schnellerer Rotation hat nun die primäre Erregung nicht Zeit genug, das Maximum der Empfindung hervorzubringen, der schwarze Sector fängt schon an zu wirken, bevor der Gipfel der ansteigenden Empfindungscurve erreicht ist, das Weiss erscheint daher weniger hell. — Ich habe in verschiedenen Versuchen für meine Augen 18,66

Fig. 60.



bis 20,33 Vorübergänge des Weiss in 1″ am günstigsten für die Hervorbringung der grössten Helligkeitsempfindung gefunden. (AUBERT, Physiologie der Netzhaut p. 356. — Vergleiche EXNER, Pflüger's Archiv 1870, Bd. III. p. 218 u. 226.)

Was ferner die Intensität und Dauer des positiven Nachbildes betrifft, so ist dasselbe, wie HELMHOLTZ (Physiol. Optik p. 358) angiebt, im Ganzen um so heller und dauert um so länger, je grösser die Intensität des primären Lichtes, d. h. des Objectes ist: das helle Nachbild der Sonne bleibt oft mehrere Minuten lang stehen, während die positiven Nachbilder von mässig erleuchteten Gegenständen eine erkennbare Dauer von etwa zwei Sekunden haben — auch verschwinden die helleren Partien des angeschauten Objectes im Nachbilde später. Ich habe gleichfalls gefunden, dass das positive Nachbild länger dauert, wenn der elektrische Funken direct beobachtet wird, als wenn Objecte betrachtet werden, welche der elektrische Funke beleuchtet.

Eine genaue Bestimmung der Dauer des positiven Nachbildes dürfte indess sehr schwierig sein, da der Verlauf desselben auch bei der momentanen Wirkung des elektrischen Funkens kein ganz gleichmässiger und einfacher ist in den verschiedenen Regionen der Netzhaut, wie wir im nächsten Paragraph sehen werden — ausserdem habe ich bemerkt, dass bei sehr schwacher Beleuchtung des Objectes durch den elektrischen Funken das positive Nachbild viel länger dauert, als bei starker Beleuchtung (AUBERT in Moleschott's Untersuchungen V. p. 301). Auch EXNER (Wiener Akademie-Berichte 1872, Bd. 65, III.) stellt auf Grund verschiedener Beobachtungen geradezu den Satz auf: »Je schwächer die Reizung, desto länger das Nachbild« — was doch nur abwärts von gewissen Intensitäten der Beleuchtung, aber nicht ganz allgemein gelten dürfte. EXNER's Angabe, dass wenn eine in schwarze und weisse Sectoren getheilte Scheibe bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit intensiv beleuchtet ist, man noch deutliches Schwarz und Weiss auf einander folgen sieht, bei Herabsetzung der Beleuchtung aber die Scheibe nur noch flimmernd oder sogar gleichmässig grau erscheint, ist allerdings ganz richtig und die Thatsache schon von HELMHOLTZ (Physiol. Optik p. 344) und von mir (Physiologie der Netzhaut p. 352) festgestellt worden. — Hier scheinen also noch weitere Untersuchungen erforderlich zur Lösung der Widersprüche.

§ 32. Die negativen Nachbilder. PLATEAU's Oscillationen. — Unter negativen Nachbildern versteht man nach BRÜCKE's Definition (Poggendorff's Annalen 1851, Bd. 84, p. 436) diejenigen nach dem Aufhören des Reizes stattfindenden Empfindungen, in welchen das dunkel ist, was im Objecte hell war und umgekehrt. Blickt man z. B. einige Sekunden lang durch ein Fenster nach dem hellen Himmel und schliesst dann die Augen, so sieht man nach mehreren Sekunden die Scheiben des Fensters dunkel, das Kreuz desselben hell erscheinen; öffnet man die Augen und sieht unverrückten Blickes einige Sekunden lang auf ein weisses Papier, so erscheint gleichfalls ein helles Fensterkreuz mit dunklen Scheiben. HELMHOLTZ (Physiol. Optik p. 357) nennt die nach der primären Erregung einwirkenden Helligkeiten »reagirendes Licht«, insofern dasselbe ein Reagenz auf die veränderte Reizbarkeit der Netzhaut ist.

Negative Nachbilder werden beobachtet, wenn man einige Sekunden der Minuten ein Object unbewegten Blickes angesehen hat, indem man irgend einen Punkt desselben fixirt und dann die Augen schliesst oder auf einen gleich-

mässigen Grund von mässiger Helligkeit blickt, indem man auf diesem auch wieder einen Punkt fixirt. Bei der im gewöhnlichen Leben meist grossen Unstätheit des Blickes pflegen uns die Nachbilder zu entgehen und nur gelegentlich, wenn wir etwas angestarrt haben oder sinnend in die Ferne geblickt haben, bemerkt zu werden. Als Object kann Alles dienen zur Erzeugung von negativen Nachbildern, am auffallendsten sind die Nachbilder aber, wenn in dem Objecte grosse Helligkeitsdifferenzen oder Contraste neben einander sind, wie Schwarz und Weiss, wenn wir also z. B. ein Stück weisses Papier auf schwarzem Sammet, oder umgekehrt einige Zeit anstarren, oder die Sonne am Himmel, oder eine Flamme auf dunklem Hintergrunde und dergleichen.

Wir werden nun zunächst die Entwickelung, die Dauer, Intensität und die Wandlungen der negativen Nachbilder betrachten, und dann die Vorstellungen andeuten, welche man sich von den Vorgängen in der Netzhaut oder Sehsubstanz gemacht hat zur Erklärung der Erscheinungen.

In § 30 ist bereits darauf eingegangen worden, dass bei längerer Betrachtung eines Objectes die von Müller sogenannte Ermüdungscurve abläuft: schon Fechner (Poggendorff's Annalen 1840, Bd. 50, p. 201) hat hervorgehoben, dass bei längerer Betrachtung eines hellen Objectes die Helligkeit und Farbe desselben immer mehr abnimmt und hat diese Erscheinung aufgefasst als die Entwickelung des negativen Nachbildes. Verändert man bei einer solchen Betrachtung eines hellen Objectes, z. B. der untergehenden Sonne die Blickrichtung auf einen Augenblick, so sieht man neben dem Objecte das negative Nachbild desselben, also neben der Sonne am Himmel das dunkle Bild der Sonnenscheibe. Den Anfang der Entwickelung des negativen Nachbildes müssen wir also wenigstens von der Erreichung des Empfindungsmaximums an rechnen. Nach den Auseinandersetzungen Exner's (Pflüger's Archiv 1870, Bd. III, p. 224) würde aber schon die ansteigende Reizungscurve als aus zwei Curvenelementen zusammengesetzt anzusehen sein, deren erstes die reine Reizung, deren zweites die Wirkung des (positiven) Nachbildes darstellen würde, und er hat diese beiden Elemente durch Construction (a. a. O. Fig. III) zu sondern versucht.

Ich glaube für Exner's Annahme eine Beobachtung geltend machen zu können, welche ich beim Beobachten der durch den elektrischen Funken beleuchteten Objecte gemacht habe: sah ich auf eine Reihe dunkler Quadrate auf hellem Grunde, so sah ich gleichzeitig (scheinbar) mit dem Erscheinen der dunkeln Quadrate beim Ueberspringen des Funkens helle Quadrate, welche meist ein wenig gegen die dunkeln Quadrate verschoben waren. Ich habe es als wahrscheinlich angesehen (Moleschott's Untersuchungen 1858, Bd. V, p. 309), dass eine sehr kurze, nicht mehr wahrnehmbare Zeit zwischen dem Auftreten der dunkeln und der hellen Quadrate vergangen sei und die Verschiebung derselben gegen einander die Folge einer Augenbewegung gewesen sei — jedenfalls würde die Beobachtung beweisen, dass schon vor der Erreichung des Empfindungsmaximums (für welche der elektrische Funken eine zu kurze Dauer hat) negative Nachbilder ausgelöst werden — denn als solche müssen wir die hellen Quadrate ansehen. Erst nach einer Pause taucht dann das positive Nachbild der Quadrate aus dem Dunkel auf.

Wenn nun das negative Nachbild sich während der Betrachtung des Objectes entwickelt, so wird zu erwarten sein, dass je länger die Anschauung des Objectes

dauert, um so länger auch die Dauer des negativen Nachbildes ist: eine solche Proportionalität ist allerdings nicht nachgewiesen, im Ganzen findet man aber das Verhalten ungefähr derartig, dass bei längerer Dauer des Anschauens ein und desselben Objectes auch die Dauer des Nachbildes eine längere ist. Fixire ich z. B. die Abendsonne 3″ lang, blicke dann daneben auf den Himmel 5″ lang, indem ich das negative Nachbild fixire, dann 8″ lang noch weiter daneben, und beobachte dann die 3 auf den Himmel projicirten Nachbilder, so ist das erste nach etwa 2—3 Minuten, das zweite nach etwa 5 Minuten, das dritte erst nach etwa 10 Minuten verschwunden. — Ferner ist die Helligkeit des Objectes und die Helligkeitsdifferenz gegen seine Umgebung maassgebend für die Dauer des Nachbildes: ein Nachbild von der Sonne dauert viel länger als ein Nachbild von weissem Papier, welches durch diffuses Tageslicht beleuchtet wird: das Nachbild von einem weissen Papierstück dauert aber länger, wenn es auf schwarzem Sammet, als wenn es auf grauem Papier gelegen hat.

Ebenso ist die Intensität des Nachbildes abhängig von der absoluten Helligkeit des Objectes und von dem Unterschiede seiner Helligkeit gegen die Umgebung: man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man ein weisses Quadratcentimeter und graue Quadratcentimeter von verschiedener Helligkeit etwas entfernt von einander auf schwarzen Sammet legt und dann die Nachbilder auf ein gleichmässiges weisses Papier projicirt: das Nachbild von dem weissen Quadrate ist dann immer am dunkelsten.

Ferner ist von Einfluss auf die Dauer und auf die Intensität der negativen Nachbilder die Intensität des reagirenden Lichtes an sich und im Verhältniss zu dem primären Lichtreize — am längsten finde ich die Dauer eines durch Betrachten von weissem Papier erzeugten Nachbildes, wenn ich auf dunkelgraues (sogenanntes schwarzes) glanzloses Papier im diffusen Tageslichte blicke; auch ist das Nachbild dann intensiver, als wenn ich auf weisses Papier sehe.

Von grossem Einflusse auf das Nachbild sind aber Veränderungen des reagirenden Lichtes während der Beobachtung des Nachbildes, wie schon Peiresc (Vita Peirescii 1658, p. 175) angemerkt hat, indem ihm das Nachbild von matten Fensterscheiben hell erschien, wenn er die Augen schloss, dunkel, wenn er auf eine mässig beleuchtete Wand blickte: bei geschlossenen Augen ist also das Nachbild positiv, bei geöffneten Augen negativ. Ich finde, dass bei einem solchen Wechsel des reagirenden Lichtes in nicht zu weiten Grenzen das Nachbild am allerlängsten dauert, wie auch Marangoni (Poggendorff's Ann. 1872, Bd. 146, p. 115) beobachtet hat, und werde sogleich einen Versuch von Purkinje angeben, in welchem nach 10 Sekunden langer Wirkung des primären Eindruckes das Nachbild noch nach einer Viertelstunde zu bemerken war.

Es sei endlich noch erwähnt, dass das Nachbild um so länger dauert und um so intensiver wird, wenn man die Augen möglichst unbewegt hält, also einen Punkt auf der reagirenden Fläche recht ruhig und sicher fixirt.

Abgesehen von dem durch Veränderung des reagirenden Lichtes hervorgerufenen Wechsel im Nachbilde treten aber bei unverändertem reagirenden Lichte Phasen und Wandlungen des Nachbildes auf. Abgesehen von den Farbenwandlungen der sogenannten Blendungsbilder, wie man die durch Anschauen der Sonne und der hellen Lichtflammen hervorgebrachten Nachbilder bezeichnet,

treten nämlich auch im geschlossenen und bedeckten Auge Uebergänge von positiv zu negativ auf. Purkinje (Beiträge I, 1823, p. 105) hat zuerst den Uebergang von positiven Nachbildern in negative deutlich beobachtet und beschrieben: »Ich sah das Fenster bei einem grau überzogenen Tageshimmel durch 20 Sekunden starr an. Nachdem ich das Auge mit der Hand wohl bedeckte, erschienen mir zuerst die Scheiben weiss, die Rahmen schwarz. Während nun die weissen Vierecke verschwanden und schwarze an ihre Stelle traten, wurde das Fensterkreuz nach und nach licht; so wechselte die Erscheinung zwischen Licht und Finsterniss 4 bis 5 Mal, bis alles in einen schwachen, grauen Schimmer zerfloss. Dies dauerte 5 Minuten, und auch dann, als ich die Hand von meinen Augen zog und schwaches Licht durch die Augenlider einströmte, stand das Fensterbild wieder in voller Deutlichkeit mit dunkeln Scheiben und lichten Fensterrahmen da.« Ich habe diesen Versuch Purkinje's immer in allem Wesentlichen bestätigt gefunden (Physiologie der Netzhaut p. 374) und namentlich constatirt, dass der Wechsel des Nachbildes nicht etwa durch Lidschläge oder Bewegungen der Augen oder durch veränderten Druck auf die Augen bewirkt wird: er tritt auch keineswegs plötzlich, sondern sehr allmälig auf. Plateau hat gleichfalls derartige Wandlungen beobachtet und sie Oscillationen genannt (Poggendorff's Ann. 1834, Bd. 52, p. 550, cf. Aubert, Physiol. der Netzhaut p. 374). Fechner (Poggendorff's Ann. Bd. 44, p. 525) und Helmholtz (Physiol. Optik p. 364) wollen dieselben auf Lidschläge und dergleichen zurückführen; die Oscillationen halten aber im Purkinje'schen Versuche ihren Gang trotz absichtlicher Lidschläge und Augenbewegungen (wenn man nur Druck auf den Bulbus vermeidet) inne, zeigen einen ganz allmäligen Ablauf, nicht ruckweise Uebergänge, und treten endlich unter besonderen Umständen örtlich zu verschiedenen Zeiten auf. Blickt man auf eine Reihe weisser Quadrate auf dunklem Grunde, indem man eins derselben sicher fixirt, so sieht man, wenn man das Nachbild auf einen mässig hellen Grund projicirt, einzelne Quadrate verlöschen, während die übrigen bleiben, dann die verloschenen wiederkehren, während andere verlöschen (Aubert in Moleschott's Untersuchungen 1858, IV, p. 231). Dasselbe habe ich beobachtet, wenn ich die Reihe der Quadrate mit dem elektrischen Funken beleuchtete (ibid. V, p. 311). — Auch Hering (Wiener Akademie-Ber. 1873, Bd. 58, III, § 18) ist bei seinen Beobachtungen zu der Ueberzeugung gekommen, dass das periodische Verschwinden und Wiedererscheinen der Nachbilder nicht lediglich durch zufällige Störungen bedingt ist.

Unter besonderen Verhältnissen, nämlich unter gleichzeitiger Wirkung des simultanen Contrastes scheint nun die Helligkeit der Nachbilder grösser werden zu können, als die des Objectes war. — Hering (l. c. § 16) führt folgenden Versuch zum Beweise dessen an: »Man klebe auf eine weisse hellbeleuchtete und weit ausgebreitete Fläche einen etwa 1 Ctm. breiten Streifen von mattschwarzem Papier oder Sammet und auf den Mittelpunkt des Streifens ein sehr kleines Schnitzel weissen Papiers, welches als Fixationspunkt zu dienen hat. Nachdem man diesen Punkt $^1/_2$—1 Minute lang fixirt hat, mindere man rasch die Beleuchtung (durch Herabdrehen des Lampendochts oder dergl.). Hierbei bemerkt man deutlich, wie der schwarze Streifen rasch heller, der weisse Grund rasch dunkler wird, und sobald die Beleuchtung hinreichend gemindert ist, erscheint der schwarze Streifen heller als der weisse Grund.« Das negative Nach-

bild des schwarzen Streifens hat also eine grössere Helligkeit, als das Weiss des Grundes darbietet nach der Verdunkelung der Lichtquelle. — HERING hat noch einige ähnliche Versuche angegeben.

Die angegebenen Erscheinungen positiver und negativer Nachbilder lassen sich nur theilweise als auf Fortdauer der Erregung und auf Ermüdung beruhend ansehen, und wir dürfen auch nicht ausser Acht lassen, dass diese Ausdrücke keine Erklärung enthalten, sondern nur eine Classificirung der Erscheinungen oder eine Umschreibung derselben bezwecken können, da Ermüdung ein physiologisch völlig unerklärter Vorgang ist.

Eine wirkliche Erklärung der Empfindungsvorgänge in der Sehsubstanz bei der Empfindung von Hell und Dunkel würde nur möglich sein, wenn uns die Veränderungen im Empfindungsorgane physikalisch und chemisch bekannt wären. Da dies auch nicht annähernd bekannt ist (cf. FECHNER, Elemente der Psychophysik 1860, p. 281 u. f.), so werden wir nur im Stande sein, eine Formulirung unserer Erfahrungen zu versuchen, welche mit anderweitigen physiologischen Vorstellungen und Postulaten nicht im Widerspruche oder denselben ganz fremd ist. Eine derartige Hypothese ist von EXNER (Pflüger's Archiv 1870, III, p. 23) angedeutet und von HERING (Wiener Akademie-Berichte 1874, Bd. 69, III, Aprilheft § 27 u. f.) eingehend entwickelt worden. Beide nehmen an, dass das objective Licht eine Veränderung der disponiblen Kräfte in der Netzhaut bewirkt, welcher ein Restitutionsprocess folgt. HERING nimmt, wie wir schon in § 22 anführten, geradezu chemische Veränderungen der Sehsubstanz, einen Dissimilationsprocess und einen Assimilationsprocess an, und stellt den Satz auf, dass »was uns als Gesichtsempfindung zum Bewusstsein kommt, der psychische Ausdruck oder das bewusste Correlat des Stoffwechsels der Sehsubstanz ist«. Die Contrasterscheinungen (§ 28) fordern die Annahme, dass wenn an einer Stelle der Netzhaut ein Dissimilationsprocess stattfindet, die übrige Netzhaut zu einem lebhafteren Assimilationsprocesse veranlasst werde — die positiven Nachbilder würden als eine Fortsetzung des einmal eingeleiteten Dissimilationsprocesses, die negativen Nachbilder als Vorgänge der Assimilation oder Restitution aufzufassen sein: da aber Dissimilation und Assimilation oder Stoffverbrauch und Ernährung gleichzeitig erfolgen, so würde Lichtempfindung ununterbrochen stattfinden, mit der Dissimilation aber auch immer Assimilation, also während eines stärkeren Lichtreizes eine grössere Dissimilation und eine verhältnissmässig zu kleine Assimilation stattfinden, deren Ausdruck das negative Nachbild, welches die Empfindung der Helligkeit vermindert, sein würde: einer starken Dissimilation würde aber eine entsprechend verstärkte Assimilation, also Empfindung einer anfangs grossen, dann aber abnehmenden Dunkelheit folgen. — Ein weiteres Eingehen auf HERING's Theorie, die er selbst nur »als Programm für spätere Mittheilungen« betrachtet, scheint hier nicht am Orte, indess wird m. E. schon jetzt manches durch dieselbe geklärt und ich finde nicht, dass Thatsachen mit derselben unvereinbar wären.

§ 33. **Mischung schnell aufeinanderfolgender Reize. Talbot-Plateau'scher Satz.** — Wenn Lichtreize verschiedener Art auf ein und dieselbe Netzhautstelle rasch hintereinander wirken, so kann nach dem Besprochenen die durch jeden einzelnen Reiz erregte Empfindung nicht ihren vollen Ablauf

haben, vielmehr wird weder das Maximum der Empfindung ausgelöst, noch kann die Entwickelung des positiven und negativen Nachbildes stattfinden. Merkwürdigerweise findet, wie TALBOT (Philosoph. Magaz. Ser. III. 1834, Vol. V. p. 321) und PLATEAU (Poggendorff's Annalen 1835, Bd. 35, p. 458) gefunden haben, von einer gewissen Geschwindigkeit der Wiederkehr der Eindrücke an bis zur grössten erreichbaren Geschwindigkeit eine Vermischung der Eindrücke von der Art statt, dass eine gleichmässige Empfindung entsteht und dieselbe einer Helligkeit entspricht, welche entstehen würde, wenn die Helligkeiten sämmtlicher Eindrücke gleichmässig vertheilt wären. Diese Erfahrung wird der Talbot-Plateau'sche Satz genannt.

PLATEAU hat diesen Satz durch Versuche bewiesen, in welchen er die Helligkeit weissen Papiers durch Entfernung von der Lichtquelle so lange veränderte, bis es eben so hell erschien, wie eine rotirende schwarze Scheibe mit weissem Sector, welche sich in grösserer Nähe der Lichtquelle befand. Die Helligkeiten fand PLATEAU einander gleich, wenn das Quadrat des Abstandes der rotirenden Scheibe von der Lichtquelle sich zum Quadrate des Abstandes des weissen Papiers verhielt, wie die Winkelbreite des weissen Sectors zum ganzen Kreisumfang. Noch directer hat HELMHOLTZ (Physiologische Optik p. 340) den Talbot-Plateau-schen Satz bewiesen, indem er eine mit vielen schwarzen und weissen Sectoren bedeckte Scheibe durch eine Convexlinse so betrachtete, dass das Bild der Scheibe in die Fläche der Pupille fiel und grösser war als die Pupille: die Scheibe erscheint dann gleichmässig hell und die Helligkeit bleibt dieselbe, wenn die Scheibe in schnelle Rotation versetzt wird. Auch die Versuche von FICK bestätigen den Talbot-Plateau'schen Satz: FICK (Müller's Archiv 1863, p. 739) bestimmte die Helligkeit verschiedener grauer Papiere im Verhältniss zu weissem Papier, liess dann einen Sector von x^0 weissen Papiers vor einem nahezu lichtlosen Raume rotiren und verglich die Helligkeit der entstehenden Kreisscheibe mit der Helligkeit der grauen Papiere. Die Differenz der Helligkeit der Scheiben gegen die Papiere beträgt im Maximum $^1/_7$, die Differenzen der einzelnen Bestimmungen für die Helligkeiten der grauen Papiere für sich aber $^1/_{15}$. Die Differenz ist also sehr gering und fiel auch nicht in gleichem Sinne in verschiedenen Versuchsreihen aus. (cf. AUBERT, Physiologie der Netzhaut p. 351.)

Nach den bisherigen Ermittelungen über den zeitlichen Verlauf der Lichtempfindung ist das von PLATEAU erhaltene Resultat nicht vorauszusagen. Offenbar kann bei sehr schneller Rotation das positive Nachbild nicht zur Entwickelung kommen, denn dann müsste, wie in BRÜCKE's Versuchen, die Helligkeit der rotirenden Scheibe grösser sein — anderseits muss man aber annehmen, dass die einzelnen weissen Sectoren zu schnell vorübergehen, als dass ein Anklingen bis zum Maximum stattfinden kann — und drittens, dass jeder folgende Sector das unterbrochene Anklingen des vorhergehenden Sectors wieder aufnimmt. Besonders hervorzuheben ist mit Bezug auf diese Verhältnisse, dass bei Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit über das Maass, bei welcher die Scheibe homogen erscheint, keine Veränderung in der Helligkeit oder dem Aussehen derselben eintritt: wenn z. B. eine Scheibe, wie in Figur 59, so schnell rotirt, dass auch der innerste Ring homogen erscheint, so ist auch der äusserste Ring, an welchem der Eindruck des Weiss 32 Mal öfter in derselben Zeit wiederkehrt, von gleicher homogener Helligkeit.

PLATEAU hat als untere Grenze für die Häufigkeit der Wiederkehr des Weiss, wenn die Scheibe homogen erscheinen soll, gefunden, dass der Eindruck des Weiss etwa 60 Mal in der Sekunde wiederkehren muss, oder genauer: 12 Mal in 0,191 Sekunden bei Beleuchtung der Scheibe im diffusen Tageslichte; EMSMANN (Poggendorff's Annalen 1854, Bd. 91, p. 611) hat im Mittel eine 48malige Wiederkehr, ich (Physiologie der Netzhaut p. 352) eine 49- bis 53malige Wiederkehr in der Sekunde nöthig gefunden. Dagegen genügten bei BRÜCKE (Wiener Akademie-Berichte 1864, Bd. 49, p. 6) 35 Wiederholungen des Eindrucks im diffusen Tageslichte — und nach den Angaben von HELMHOLTZ (Physiol. Optik p. 344) würden für ihn etwa 24 Wiederholungen bei stärkstem Lampenlicht, und sogar 10 Wiederholungen bei Beleuchtung durch den Vollmond genügen, um die Scheiben ohne alles Flimmern zu sehen. Bei einer schwachen, etwa dem Vollmonde entsprechenden Beleuchtung mittelst des Diaphragmas im finstern Zimmer (§ 24) habe ich wenigstens 25 Wiederholungen in 1″ nothwendig für meine Augen gefunden, um die Scheibe homogen zu sehen.

B. Der Farbensinn.

§ 34. Farbe und Farbenempfindung. — Die Empfindung der Farbe ist ebenso wie die Empfindung von Weiss, Schwarz oder Grau eine besondere qualitative Empfindung. Sie kann durch die physikalische Hypothese über die Eigenschaften der verschiedenen Aetherwellen nicht erklärt werden, sondern muss als ein besonderer Vorgang in der Sehsubstanz aufgefasst werden, welcher eine specifische Energie derselben voraussetzt. Erfahrungsgemäss werden Farbenempfindungen, und zwar die vielleicht lebhaftesten und schönsten durch Druck auf den Augapfel erzeugt bei objectiv tiefster Dunkelheit.

Um das Chaos der Farbenempfindungen im physiologischen Interesse zu ordnen, müssen wir Empfindungsreihen zu gewinnen suchen, und wir werden am zweckmässigsten und einfachsten zweierlei Reihen unterscheiden: 1) die Farbentöne, d. h. Empfindungen, welchen kein Weiss und kein Schwarz beigemischt ist, 2) Farbennüancen, d. h. Empfindungen, welche durch Mischung von Weiss, Grau oder Schwarz mit einem Farbentone entstehen. Alle unsere Farbenempfindungen lassen sich reduciren auf 4 einfache (LEONARDO DA VINCI) oder principale (AUBERT) Empfindungen: Roth, Grün, Gelb und Blau, aus denen alle bekannten Farbentöne gemischt werden können; jeder dieser Farbentöne kann mit Weiss, Grau oder Schwarz gemischt werden.

Die Empfindung eines absolut reinen Farbentons ist uns ebenso wie die Empfindung eines absoluten Schwarz und eines absoluten Weiss unbekannt: jeder Farbenton des Sonnenspectrums kann reiner oder an Färbung intensiver empfunden werden, wenn wir vorher die sogenannte complementäre Farbe empfunden haben, z. B. Blau, wenn wir vorher Gelb, Grün, wenn wir vorher Roth empfunden haben. Ob wir jemals das Maximum der möglichen Farbeneinheit empfinden, bleibt unbekannt und ist ausserdem unwahrscheinlich. Wir

empfinden daher factisch immer Farbennüancen, d. h. Farben, denen noch irgend eine farblose Helligkeit beigemischt ist. — Betrachten wir irgend ein möglichst intensiv gefärbtes Pigment, Papier oder Glas durch ein Prisma, so finden wir immer, dass mehrere Farben erscheinen: der Hauptfarbe sind also noch andere Farben beigemischt, welche einander zu Grau ergänzen und die Empfindung der Hauptfarbe beeinträchtigen — damit also die Hauptfarbe nüanciren. — Ferner wenn wir einen reinen Farbenton, z. B. des Spectrums, betrachten, so entwickelt sich gleichzeitig die sogenannte Complementärfarbe in unserer Sehsubstanz und da beide Farbentöne zusammen die Empfindung der Farblosigkeit bedingen, so wird mit der Entwickelung der Complementärfarbe immer ein Theil der primär wirkenden Farbe ausgelöscht — diese würde also nur im ersten Momente des Anschauens in voller Reinheit oder Sättigung auftreten können.

Wir haben umgekehrt auch nie die Empfindung eines absolut reinen Weiss oder Schwarz, sondern immer die Beimischung eines Farbentons zu jedem Weiss und Grau: dies wird sofort klar, wenn wir verschiedene weisse Objecte mit einander vergleichen; frischgefallener Schnee, weisses Papier, weisses Porzellan, weisse Leinwand haben immer neben einander betrachtet einen schwachen Farbenton von Bläulich oder Gelblich. Dasselbe gilt für graue Objecte.

Denken wir uns an der einen Ecke eines gleichseitigen Dreiecks einen absolut rein gedachten Farbenton, an der zweiten Ecke ein absolut reines Weiss, an der dritten Ecke ein absolut reines Schwarz, so lassen sich auf der Fläche des Dreiecks alle überhaupt denkbaren Nüancen des gewählten Farbentons verzeichnen. So viel Farbentöne, so viel Nüancirungs-Dreiecke sind möglich und damit würden alle überhaupt möglichen Lichtempfindungen erschöpft sein. (Hering, Wiener Akademie-Berichte 1874, Bd. 69, III. Maiheft § 39.)

In gleicher Weise, wie wir uns eine Empfindungsreihe vom tiefsten Schwarz bis zum intensivsten Weiss vorstellen, welche also sämmtliche farblosen Empfindungen enthalten würde, denken wir uns Empfindungsreihen zunächst für die einfachen oder principalen Farben Roth, Grün, Gelb und Blau. Reines (nicht spectrales mit Gelb gemischtes) Roth und reines Grün mit einander gemischt geben eine farblose Empfindung von Grau, ebenso reines Gelb und reines Blau — reines Roth aber bildet einerseits alle erdenklichen Farbentöne durch Gelbroth und Blauroth, in welchen also je zwei Farben empfunden werden, oder erkannt werden, anderseits Grün alle erdenklichen Farbentöne durch Gelbgrün und Blaugrün, ebenfalls mit je zwei erkennbaren Principalfarben. — Hering (l. c. § 42) bezeichnet demgemäss Roth und Grün nicht als complementäre, sondern als antagonistische Farben, indem sie sich in der Erregung der Farbenempfindung entgegenwirken oder aufheben, und ebenso Gelb und Blau.

Wenn wir so unsere farblosen und farbigen Empfindungen classificiren, so würde sich daraus folgende Auffassung des Sonnenspectrums und des weissen Lichtes ergeben in Bezug auf die Wirkung, welche die Strahlen desselben in unserer Sehsubstanz hervorbringen. Unsere Sehsubstanz würde sich aus 3 verschiedenen Substanzarten zusammensetzen, nämlich 1) aus der Substanz für die Empfindungen von Schwarz bis Weiss, 2) aus der Substanz für die Empfindungen von Roth bis Grün, 3) für die Empfindungen von Gelb bis Blau. Nennen wir der Kürze halber mit Hering diese Substanzen die schwarz-weisse, die roth-grüne, die blau-gelbe, so werden wir den bereits besprochenen Satz, dass keine Farbe

oder Farbenton in vollkommener Reinheit empfunden werden kann, dahin ausdrücken müssen, dass von allen objectiven Farben immer auch die schwarz-weisse Substanz afficirt wird. — Wird nun durch objectives Gelb und Blau in solchem Mischungsverhältnisse die Sehsubstanz afficirt, dass die farbigen Empfindungen einander aufheben, so bleibt von ihnen nur noch die Wirkung auf die schwarz-weisse Substanz übrig und die resultirende Empfindung ist ein farbloses Grau. Dasselbe gilt für Roth und Grün. Wirken also sämmtliche Strahlen des Spectrums ein, so werden die Empfindungen des Gelb und Blau, des Roth und Grün ausgelöscht und es bleibt nur die Empfindung der schwarz-weissen Substanz übrig. Man kann also nicht sagen: Gelb und Blau gemischt geben Grau, sondern man muss sich denken: die auf die schwarz-weisse Substanz von dem Gelb und Blau ausgeübte Wirkung bleibt bestehen, wenn die auf die gelb-blaue Substanz ausgeübte Wirkung gleich Null geworden ist. — Dieser Auffassung entspricht sehr gut die schwache Empfindung, welche ein aus lebhaftem Gelb und lebhaftem Blau gemischtes Grau hervorbringt (cf. § 35.) Die roth-grüne Substanz würde einerseits vom äussersten Roth des Spectrums bis zum reinen Gelb, anderseits vom grünlichen Gelb bis zum Blau und dann wieder von dem im Violett des Spectrums enthaltenen Roth afficirt werden; im vollen Gelb aber und im vollen Blau gar nicht erregt werden, und zwar im vollen Gelb deswegen nicht, weil die Wirkung des Roth und die antagonistische Wirkung des Grün einander aufheben — im vollen Blau deswegen nicht, weil die Wirkung auf die grün-rothe Substanz wieder mit der Gegenwirkung des Violett auf die grün-rothe Substanz zusammenfällt. — Die gelb-blaue Substanz aber würde vom Roth bis zum Grün und vom ersten bläulichen Grün bis zum Ende des Spectrums erregt werden.

Mit dieser von Hering (Wiener Akademie-Berichte 1874, Bd. 69, III. Maiheft) aufgestellten Theorie, welche auf der Aussage unserer Empfindungen fusst, lassen sich die Beobachtungen am besten und bequemsten in Einklang bringen, wie wir in der Folge sehen werden. Ich habe daher kein Bedenken getragen, der Hering'schen Theorie zu folgen, da die Young-Helmholtz'sche Theorie manche Erscheinungen gar nicht, manche nur sehr gezwungen zu erklären vermag, und sich eigentlich nur auf Vorgänge im Nerven vor der eigentlichen Empfindung, nicht auf eine Erklärung der Empfindungen bezieht. — Beide Theorien könnten daher mit einigen Modificationen sehr wohl neben einander bestehen, wenn man den Erregungsvorgang streng unterscheidet von dem Empfindungsvorgange.

Dass die verschiedenen Uebergangstöne von Roth zu Gelb, Grün zu Blau u.s.w. nicht auf einer objectiven Mischung von Aetherwellen beruhen, ist als nachgewiesen anzusehen. (Helmholtz, Physiologische Optik p. 290.) Es kann sich also für uns nur um die Frage handeln, welche Einrichtungen in unserem Empfindungsorgane anzunehmen sind, um die Empfindung so verschiedener Farbentöne und die Empfindung von Weiss oder Grau durch Mischung gewisser Farbentöne zu ermöglichen. Young (Philosophical Transactions 1802, p. 19) und Helmholtz (Physiol. Optik p. 291 und Müller's Archiv 1852, p. 461) haben die Hypothese aufgestellt und durchzuführen versucht, dass drei Grundempfindungen stattfinden, die Empfindung von Roth, Grün und Violett, dass die diesen Grundempfindungen dienenden Nervenfasern durch die verschiedenen Farbentöne des

Spectrums verschieden stark erregt werden und die Summe der Erregungen zu einer resultirenden Empfindung führt. Helmholtz (Physiol. Optik p. 291) denkt sich die Erregbarkeitscurven der drei Faserarten in der Weise angeordnet, dass das spectrale Roth die rothempfindenden Fasern stark, die beiden anderen schwach, das spectrale Gelb die roth- und die grünempfindenden Fasern mittelstark, die violettempfindenden schwach, das spectrale Grün die grünempfindenden Fasern stark, die beiden anderen schwach, das spectrale Blau die grün- und violettempfindenden Fasern mittelstark], die rothempfindenden schwach, endlich das spectrale Violett die violettempfindenden Fasern stark, die übrigen schwach erregt. Erregung aller drei Faserarten in ziemlich gleicher Stärke würde die Empfindung von Weiss geben.

Da es ein Widerspruch in sich selbst ist, zu sagen, dass roth- und grünempfindende Fasern die Empfindung von Gelb hervorbringen, so habe ich, auf Young's Auffassung zurückgehend, in meiner Physiologie der Netzhaut p. 179 die Fasern als roth-grün- u. s. w. leitende bezeichnet. Das Resultiren der Empfindung bleibt bei dieser Auffassung aber ganz unerklärt, es wird damit nur der Weg, welchen die Erregung vor dem Empfindungsorgan zu nehmen hat, bezeichnet, denn wenn die Empfindung von Roth und Grün ausgelöst ist, so ist der Empfindungsprocess abgelaufen und es kann nicht mehr die Empfindung von Gelb hervorgebracht werden. Es müssten dann zweierlei Organe angenommen werden, das erste für die nicht zum Bewusstsein kommende Empfindung, das zweite für die zum Bewusstsein kommenden Empfindungen — wofür keine Erfahrungen geltend gemacht werden können.

Indess abgesehen davon, dass die Young-Helmholtz'sche Hypothese das nicht erklärt, was erklärt werden soll, stehen derselben noch andere Bedenken entgegen: zunächst bleibt völlig unerklärt die Empfindung des Schwarz, eine den übrigen Empfindungen jedenfalls völlig gleichwerthige Empfindung. Welche Fasern sollen diese Empfindung hervorbringen? Wenn die Empfindung des Schwarz auch bei Mangel objectiven Lichtes auftritt, so ist die Empfindung des Schwarz doch unzweifelhaft ein positiver Empfindungsprocess, welcher nicht gleich Null gesetzt werden kann. Zweitens ist es unerklärlich nach der Young'schen Hypothese und speciell nach den Erregbarkeitscurven, welche Helmholtz (Physiol. Optik p. 291 Figur 119) giebt, warum Gelb und Blau gemischt nicht die Empfindung von Grün geben, da doch die grünempfindenden Fasern sowohl von Gelb wie von Blau mittelstark erregt werden müssen: man würde höchstens erwarten können, ein mit Grau gemischtes Grün zu empfinden. Drittens ist das Entstehen der Empfindung von Weiss aus der Mischung von Gelb und Blau eben so räthselhaft, wie die Entstehung der Empfindung von Gelb aus der Mischung rother und grüner Strahlen, da sowohl die Empfindung von Weiss wie die Empfindung von Gelb principale Empfindungen sind, gleichwerthig den Empfindungen von Roth, Grün, Blau und Schwarz.

Von einem andern Gesichtspunkte aus hat daher Mach (Wiener Akademie-Berichte 1865, Bd. 52, p. 19) die Form der Young'schen Hypothese dahin verändern wollen, dass ausser den vier Farben Roth, Gelb, Grün und Blau auch noch Schwarz und Weiss als Grundfarbenempfindungen angenommen würden, Empfindungen, die auch ich (Physiologie der Netzhaut p. 186) als Principal-

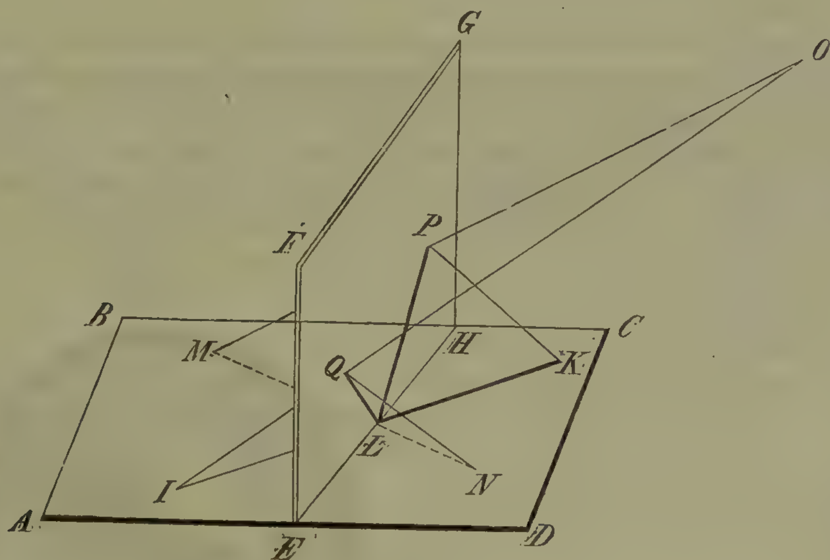
empfindungen aufgestellt habe. HERING hat diese Auffassung l. c. weiter begründet und zu einer Theorie entwickelt.

Was ich (Physiologie der Netzhaut p. 108) als »Farbenintensität« bezeichnet habe, fällt nach HERING's Theorie mit unter den Begriff der Farbennüance, so dass wir nur Farbenton und Farbennüance zu unterscheiden haben werden.

§ 35. Aufhebung der Farbenempfindung durch Mischung objectiver Farben. — Die im vorigen Paragraphen angeführten Auffassungen von der Farbenempfindung basiren auf der zuerst von HELMHOLTZ in ihrer Wichtigkeit erkannten Entdeckung von LAMBERT (Photometria 1760, § 1190, p. 527) und PLATEAU (s. Poggendorff's Annalen 1853, Bd. 88, p. 172 und Moigno's Kosmos II. p. 241), dass Mischung blauer und gelber Lichtstrahlen die Empfindung von Weiss oder Grau hervorbringt und der weiteren Entdeckung von HELMHOLTZ (Müller's Archiv 1852, p. 475 und Physiol. Optik p. 279), dass durch Mischung verschiedener anderer Farbenpaare des Spectrums die Empfindung eines farblosen Weiss oder Grau hervorgebracht werden kann, z. B. durch die Mischung von Roth und Blaugrün, von Orange und Cyanblau, von Graugelb und Violett.

Die Methoden, welche man benutzt hat, um durch die Mischung von Farben die Empfindung von Weiss zu erzeugen, bestehen theils in einer Mischung des Lichtes, welches von farbigen Pigmenten reflectirt wird, theils in einer Mischung der einzelnen Abschnitte des prismatischen Farbenspectrums. Die erste Methode ist in verschiedenen Formen angewendet worden, nämlich erstens in der Form, dass man das von einem Pigmente auf einer Glasplatte gespiegelte Bild projicirt auf das zweite Pigment, wie es Figur 61 (nach LAMBERT's Photometria p. 527,

Fig. 61.



Figur 33) zeigt. — Eine zweite, auch von LAMBERT (l. c. p. 529) herrührende Form besteht darin, dass man die durch Linsen in eine *Camera obscura* geworfenen Bilder von farbigen Flächen zur Deckung bringt. — Eine dritte, wohl von DU TOUR (Müller, Physiologie des Gesichtssinnes p. 80 und 193) herrührende Form besteht darin, dass man die von farbigen Pigmenten auf die Netzhäute der beiden Augen geworfenen Bilder durch Convergenz der Sehaxen zur Deckung

bringt. — Eine vierte von Volkmann (Müller's Archiv 1838, p. 373) herrührende Form ist die, dass man zwei Pigmentfarben in verschiedene Entfernung vom Auge bringt und die Zerstreuungskreise der einen mit der deutlich gesehenen andern Farbe sich decken lässt, oder nach Challis (Poggendorff's Annalen 1836, Bd. 37, p. 528) dicht neben einander befindliche Linien von verschiedenen Farben aus einer solchen Entfernung betrachtet, dass dieselben in Folge der Zerstreuungskreise zusammenfliessen, oder nach Mile (Müller's Archiv 1839, p. 64) farbige poröse Gewebe oder auch farbige Gläser dicht vor das Auge bringt und auf das andersfarbige Pigment durch dieselben blickt. — Nach Czermak's (Wiener Akad.-Berichte 1855, Bd. XV, p. 457) Vorschlag bringt man vor die eine und andere Oeffnung des Schirmes im Scheiner'schen Versuche (§ 13) Gläser von verschiedener Farbe und blickt auf ein ungefärbtes Object in deutlicher Sehweite. — Nach einer anderen, von Dove (Poggendorff's Annalen 1847, Bd. 71, p. 97) angegebenen Methode mischt man Interferenz- und Absorptionsfarben: ein farbiges Glas mit Silberbelag reflectirt von seiner vorderen Fläche weisses, polarisirtes, von der belegten Fläche farbiges unpolarisirtes Licht; letzteres geht durch eine Glimmerplatte und Nichol'sches Prisma unverändert durch, ersteres wird durch die Interferenz des ordentlichen und ausserordentlichen Strahls im Krystall so gefärbt, dass seine Farbe einer der Farbenstufen von Newton's Ringsystemen entspricht. (cf. Helmholtz, Physiol. Optik p. 306.)

Die bequemste und am meisten vervollkommnete Form dieser Methode besteht in der Mischung der Farben mittelst des Farbenkreisels, welcher wahrscheinlich zuerst von Musschenbroek (Introductio ad Philosophiam 1768, T. II. § 1820), später besonders von Plateau angewendet und neuerdings von Maxwell (Transactions of the Royal Society of Edinburgh 1857, Vol. 21, p. 275) sehr vervollkommnet worden ist.

Die Verbesserung durch Maxwell besteht namentlich darin, 1) dass die Grösse der farbigen Sectoren, welche die Kreisscheibe zusammensetzen, leicht verändert und genau gemessen werden kann. Maxwell benutzt die schon §25 erwähnten Scheiben mit radialem Schlitz Figur 62, deren viele bequem mittelst des Schlitzes hintereinander gesteckt und gegen einander verschoben werden können, so dass von jeder Scheibe ein Sector von einer bestimmten Anzahl von Graden zu sehen ist; diese farbigen Scheiben werden mittelst eines Blechringes *aaa* Figur 63

Fig. 62.

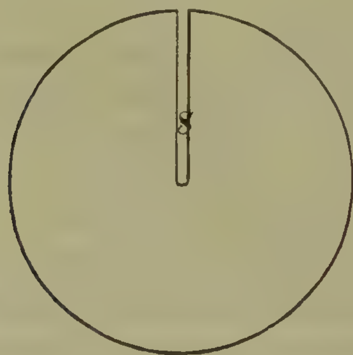
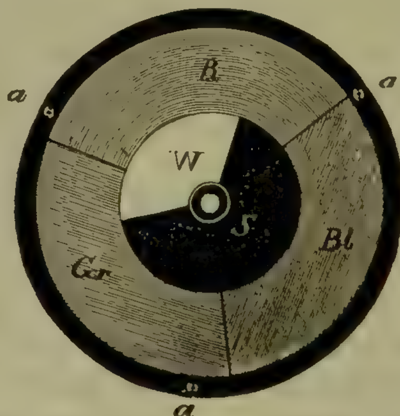


Fig. 63.



gegen eine sehr ebene Pappe oder Blechscheibe festgeschraubt, damit sie bei sehr schneller Rotation fest liegen bleiben; 2) dass die Helligkeit der farblosen Mischungen in Bezug auf

weisses Papier bestimmt und gleich aussehende Mischungen von verschiedenen Componenten mit einander verglichen werden können. Dazu dienen kleine Scheiben von starkem Cartonpapier *W*, *S* in Figur 63, welche im Centrum durch eine Schraube befestigt werden.

Man erhält dann z. B. durch eine Mischung von Roth, Grün und Blau ein Grau, welches genau ebenso aussieht, wie ein aus Mischung von Schwarz und Weiss gewonnenes Grau, also etwa

165 Roth + 122 Grün + 73 Blau = 100 Weiss + 260 Schwarz.

Bezüglich des Mechanismus bemerke ich hier nur, dass ich vermöge mehrerer Scheiben und Schnurläufe, deren eine mittelst einer Kurbel gedreht wurde, eine Rotationsgeschwindigkeit bis 100 Umdrehungen in der Sekunde erzeugt habe — dass ferner die Scheiben behufs gleichmässiger Beleuchtung und bequemer Beobachtung in senkrechter, nicht wie bei Maxwell in horizontaler Ebene rotirten, und dass es zweckmässig ist', die Scheiben erst zu beobachten, wenn alles Flimmern aufgehört hat. Wegen des Näheren verweise ich auf meine Physiologie der Netzhaut p. 159 u. f.

Indess alle diese Methoden, die von Pigmenten reflectirten Farben zu mischen, leiden an dem Uebelstande, dass alle Pigmente keineswegs nur die eine Art von farbigem Lichte zurückwerfen, nach welchem wir sie benennen, und dass die farbigen Papiere aus verschiedenen Fabriken sehr differiren, ausserdem sich im Laufe der Zeit verändern trotz sorgfältigster Abhaltung von Licht zur Zeit, wo sie nicht benutzt werden. Die gewonnenen Gleichungen gelten also nur von bestimmten, sozusagen individualisirten Pigmenten.

Da es auch anderweitig von Interesse ist, die Reinheit der Pigmente zu kennen, so führe ich hier an, dass man sehr leicht die sämmtlichen von einem Pigmente reflectirten Farben übersehen und feststellen kann, wenn man von den farbigen, natürlich matten und völlig glanzlosen Papieren kleine Streifen von $1/2$ bis 1 Mm. Breite und etwa 10 Mm. Länge schneidet, auf reinen und tiefschwarzen Sammet ohne Falten legt, gut mit diffusem Tageslicht oder directem Sonnenlicht beleuchtet und mit einem gleichseitigen Flintglasprisma aus einer Entfernung von 1 Meter betrachtet. Der Gesichtswinkel für die Breite ist dann so gering, dass an weissem Papier noch die Frauenhofer'schen Linien *D* und *E* bemerkt werden können, der Gesichtswinkel für die Länge aber so gross, dass die Farben sehr deutlich hervortreten.

Das Spectrum des sehr schönen rothen Papiers zeigt Roth und Orange, dunkles Grün, eine Spur Blau und schwaches Violett — das orangefarbene Papier giebt Roth, Orange und Gelb, dunkles Grün, eine Spur Violett, es fehlen die gelbgrünen, blaugrünen und blauen Töne — reines chromgelbes Papier giebt die ganze untere Seite des Spectrums bis zum Grün und eine kaum merkliche Spur von Blau und Violett — das grüne (Arsenik) Papier zeigt kein Roth, schwaches Orange, Gelbgrün, Grün, Blaugrün, ein wenig Blau — das ultramarinblaue Papier enthält den oberen Theil des Spectrums vom Blaugrün bis zum Ende des Violett, und ausserdem sehr schwaches Roth und Grün — endlich in dem Spectrum eines violetten Fuchsinpapiers fehlen gänzlich Gelbgrün und Blaugrün, Grün ist auch nur schwach vertreten.

Pigmente also, welche eine sehr intensive Farbenempfindung bewirken und kaum verschieden von den Farben des Spectrums erscheinen, enthalten doch immer noch eine Beimischung von anderen Farbentönen und geben also am Farbenkreisel immer sehr complicirte Mischungen von allen möglichen Farbentönen.

Die einzige Methode, aus reinen Farbentönen eine farblose Mischung herzustellen, bleibt die älteste von Newton (Opticks Book I. Pars II. Prop. III—VI und VIII, in der Ausgabe von 1717, p. 109—147) angewendete Methode, die Farbentöne zweier prismatischer Spectra mit einander zu mischen. Helmholtz (Physiol. Optik p. 303) hat diese Methode erst wieder benutzt und dadurch den Nachweis

geliefert, dass man aus zwei reinen Farbentönen des Spectrums eine farblose Mischung erhalten kann. HELMHOLTZ' Methode und eine neuere Methode von MAXWELL (Philosophical Transactions 1860, T. 150, p. 57—84) sind schon bei SNELLEN und LANDOLT, Chromatoptometrie in Bd. III. dieses Handbuches, p. 46, beschrieben. Ebenda p. 48 ist auch die Beschreibung des mehr zur Untersuchung in der Praxis geeigneten Rose'schen Farbenmessers gegeben.

Aus den Untersuchungen mit Farbentönen des prismatischen Spectrums hat nun HELMHOLTZ (Physiol. Optik p. 279) den Nachweis geliefert, dass die Empfindung von farblosem Weiss oder eigentlich Grau hervorgebracht wird, wenn folgende Farbentöne gemischt werden:

Roth und Blaugrün,
Orange und Cyanblau,
Gelb und Indigblau,
Grüngelb und Violett.

Mit diesem Resultate stimmen die am Farbenkreisel mit Pigmenten gemachten Erfahrungen ganz überein, wie aus den folgenden von mir an sehr lebhaft farbigen Papieren gemachten Versuchen und den daraus gefundenen Gleichungen hervorgeht:

165° Roth + 73° Blau + 122° Grün = 100° Weiss + 260° Schwarz α)
111° Orange + 117° Blau + 132° Grün = 134° Weiss + 226° Schwarz β)
17° Gelb + 140° Grün + 203° Fuchsin = 150° Weiss + 210° Schwarz γ)
146° Gelb + 197° Blau + 17° Grün = 159° Weiss + 201° Schwarz δ)

Allgemein lässt sich auf Grund der bisherigen Beobachtungen und mit Hülfe der Newton'schen Theorie nach GRASSMANN (Poggendorff's Annalen 1853, Bd. 89, p. 73) der Satz aufstellen: es giebt zu jeder Farbe eine andere homogene Farbe, welche, mit ihr vermischt, farbloses Licht liefert. Mit Rücksicht auf § 34 würden wir diesen Satz mehr physiologisch so ausdrücken können: es giebt zu jedem Farbentone einen anderen Farbenton, dessen Beimischung die Empfindung der Farbe aufhebt und eine Empfindung von Grau (eine Empfindung der schwarz-weissen Reihe) auslöst.

Es folgt daraus, dass ein Weiss oder Grau, welches man empfindet, sehr verschiedene objective Componenten haben kann, oder wie es HERING ausdrückt, dass die schwarz-weiss empfindende Substanz von allen Strahlen des sichtbaren Spectrums afficirt wird. Da wir bis jetzt den Antheil, welchen die einzelnen Farbentöne an der Erregung dieser Substanz haben, nicht kennen, so werden wir die Grassmann'sche Voraussetzung (l. c. p. 82) als gültig ansehen müssen, »dass die gesammte Lichtintensität der Mischung die Summe ist aus den Intensitäten der gemischten Lichter« und demgemäss finden wir in den obigen vier Farbengleichungen ein Grau von sehr verschiedener Helligkeit als die Resultante der verschiedenen Farbencomponenten. Es wird eine weitere Aufgabe sein, durch Combination verschiedener Farben den Antheil zu ermitteln, welchen dieselben an der Erregung der schwarz-weiss empfindenden Substanz haben und wir werden im folgenden Paragraphen sehen, dass für Pigmentfarben bestimmter Art dieser Antheil sich bestimmen lässt.

§ 36. Construction einer Farbentafel für die Farbentöne und Farbennüancen. — Wir haben uns in § 34 vorgestellt, dass in einem gleich-

seitigen Dreieck alle möglichen Empfindungen zwischen der höchsten Reinheit einer Farbenempfindung und zwischen Schwarz und Weiss anderseits müssen verzeichnet werden können. Für jeden Farbenton würde aber ein besonderes Dreieck anzunehmen sein. Denken wir uns die Farbentöne auf einer Kreislinie eingetragen, so werden wir uns den Radius als die eine Seite des Nüancirungsdreieckes denken können, wenn der Mittelpunkt des Kreises der Empfindung des reinen Weiss entspricht; denken wir uns weiter in dem Mittelpunkte eine Normale errichtet, so werden wir an das obere Ende desselben die Empfindung von Schwarz verlegen können, und wir bekämen dann rechtwinklige Nüancirungsdreiecke, welche zusammen einen Kegel bilden würden. — Eine annähernde Construction dieser Art ist von MAXWELL für die mit dem Farbenkreisel gewonnenen Gleichungen gemacht worden (Transactions of the Society of Edinburgh 1857, Vol. XXI. p. 279) unter Zugrundelegung der schon von NEWTON gemachten Annahme, dass die Intensität einer Farbe als ein Gewicht aufgefasst und bei einer Mischung von Farben der gemeinschaftliche Schwerpunkt durch Construction gefunden werden kann. HELMHOLTZ hat den Beweis der Richtigkeit von MAXWELL's Construction unter gewissen Voraussetzungen geliefert. (Physiologische Optik p. 283—287.)

Man wählt nach MAXWELL drei beliebige Farben, welche mit einander ge-

Fig. 64.



mischt ein eben solches Grau geben, wie man es durch gleichzeitige Mischung von Weiss und Schwarz erhält. Tragen wir die drei Farben der Gleichung α Roth, Blau und Grün an den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks in Figur 64 R,

B, *Gr* ein, so wird zunächst der Schwerpunkt für Blau und Grün auf der Verbindungslinie *BGr* liegen, und zwar um so näher an *B*, je mehr Blau in der Mischung enthalten ist. Wir haben für Blau 73 Gewichtseinheiten, für Grün 122; den Punkt α finden wir daher nach der Proportion

$$\alpha B : \alpha Gr = 122 : 73$$

Ziehen wir nun, um diese Werthe mit Roth in Verbindung zu setzen, die Hülfslinie αR, so muss auf dieser der Schwerpunkt für die drei Farben liegen; wir finden ihn in gleicher Weise, wenn der gesuchte Punkt *W* ist, aus

$$\alpha W : WR = 165 : (122 + 73)$$

W ist dann der Schwerpunkt, d. h. der Punkt für die farblose Mischung.

Das gewonnene Grau ist aber dunkler als das Weiss des angewendeten weissen Papiers, und zwar $\frac{360}{100}$ oder 3,6 Mal dunkler als das weisse Papier. Diese Zahl hat Maxwell als Coefficienten für Weiss bezeichnet, ohne ihn in der Construction zu verwerthen; er würde auf einer auf *W* Normalen zu verzeichnen sein. Auf diesen Punkt *W* können wir nun alle Gleichungen beziehen, welche Grau geben und werden dann die Winkel für andere Farbentöne finden können, welche sie z. B. mit *RW* bilden. In Gleichung β haben wir Orange als neue Farbe; wir finden wie oben zunächst die Lage des Punktes β auf der Linie *BGr*, ziehen von β eine Linie durch *W* (da die Mischung ja auch Grau giebt) und müssen nun den Punkt für Orange finden nach der Proportion

$$\delta W : Wx = 111 : (132 + 117).$$

Indess müssen wir, um die Gesammtintensität des Weiss zu erhalten, die Zahl der Grade für Weiss = 134 mit dem Coefficienten für das Weiss der vorigen Gleichung = 3,6 (oder mit Berücksichtigung der Helligkeit des Schwarz = 3,45) multipliciren und erhalten dann auf der rechten Seite der Gleichung 462 *W*. Wenn wir davon (132 + 117) abziehen, so erhalten wir 213 *Or* als corrigirten Werth statt 111 *Or*, also die Proportion

$$\delta W : WOr = 213 : 249,$$

woraus sich die Lage des Punktes für *Or*, oder Orange ergiebt.

In derselben Weise sind Lage und Coefficient für die andern Gleichungen gefunden und in Figur 64 eingetragen worden, und zwar für folgende Gleichungen:

17 Gelb	+ 140 Grün	+ 203 Fuchsin	= 140 Weiss	+ 220 Schwarz		ε)
23 Orange	+ 159 Grün	+ 178 Fuchsin	= 150 Weiss	+ 210 Schwarz		ζ)
141 Grün	+ 219 Roth	= 73 Gelb	+ 52 Weiss	+ 235 Schwarz		ϑ)
175 Grün	+ 185 Orange	= 150 Gelb	+ 60 Weiss	+ 150 Schwarz		$\varkappa$)
133 Blau	+ 212 Roth	+ 15 Weiss	= 212 Fuchsin	+ 148 Schwarz		λ)
212 Blau	+ 148 Orange	= 248 Fuchsin	+ 18 Weiss	+ 94 Schwarz		μ)

Wie man aus der Figur 64 sogleich ersieht, sind die Bestimmungen der Punkte für die Gleichungen ε) bis μ) in sehr guter Uebereinstimmung mit den Gleichungen α) bis δ), wie die kleinen Abweichungen der Striche bei ϑ, $\varkappa$, λ, μ von den Schnittpunkten zeigen.

In Bezug auf Farbenton und Farbennüance ordnen sich nun die Pigmentfarben meiner Maxwell'schen Scheiben folgendermassen: Nehmen wir *W* als Centrum, schlagen mit dem Radius *WB* Figur 64 einen Kreis und ziehen die Linien *WR*, *WOr*, *WG*, *WGr*, *WVi* bis an die Peripherie des Kreises, so werden die Farbentondifferenzen durch die Winkel, welche die Farbenlinien

mit einander bilden, oder durch die Bogenlängen ausgedrückt. Streckt man die Kreislinie zu einer geraden Linie, so erhält man eine mit dem prismatischen Farbenspectrum vergleichbare Anordnung der Farbentöne, und ein Vergleich der Abstände der Principalfarben auf dieser Linie mit dem Helmholtz'schen Spectrum (Physiologische Optik Taf. IV. Figur 1) zeigt eine grosse Uebereinstimmung beider, nur liegen Roth und Orange bei mir näher aneinander, ebenso Blau und Grün, während Grün und Gelb weiter von einander gerückt sind.

Die Farbennüance der Pigmente wird ferner bestimmt durch die Lage der gefundenen Punkte auf den Radien: je mehr Weiss oder Grau in einem Pigmente enthalten ist, um so näher liegt der Punkt für dasselbe nach W hin; das aus Orange und Grün gemischte Gelb ($\varkappa$) liegt näher an W als das Chromgelb G; das aus Roth und Grün gemischte Gelb (ϑ) liegt noch näher nach W hin, als $\varkappa$, und erscheint auch sehr viel weniger gelb und mehr grau.

Wir können somit für ein gegebenes Pigment mittelst des Farbenkreisels von Maxwell seinen Farbenton und seine Farbennüance bestimmen — indess ist die Bestimmung nur relativ zu den als Grundfarben gewählten Pigmenten, hängt ab von der Beleuchtung (man erhält z. B. ganz andere Gleichungen bei Tageslicht, als bei Lampenlicht), von der Helligkeit und Reinheit des angewendeten weissen Papiers und von der Genauigkeit der Einstellung oder der empfundenen Gleichheit des aus Farben und des aus Weiss und Schwarz zusammengesetzten Kranzes.

§ 37. Das prismatische Spectrum. Helligkeit der Farben. — Helmholtz (Müller's Archiv 1852, p. 481) und besonders Grassmann (Poggendorff's Annalen 1853, Bd. 89, p. 70) haben darauf aufmerksam gemacht, dass nicht sämmtliche Farbentöne, welche wir empfinden können, im prismatischen Spectrum enthalten sind, sondern dass die Uebergänge von Violett zu Roth, welche sie »Purpur« nennen, in demselben fehlen. Durch Mischung violetter und rother Strahlen können diese Töne erhalten werden: sie liegen auf der Farbentafel zwischen Roth und Blau und können durch Mischung dieser beiden Farben gewonnen werden, ebenso wie die Empfindung von Violett aus der Mischung von Roth und Blau gewonnen werden kann, wenn demselben allerdings auch noch Grau beigegeben ist, weshalb es Helmholtz als Rosa von Purpur unterscheidet. — Anderseits sind Strahlen von geringerer Brechbarkeit als diejenigen, welche wir als roth empfinden, und Strahlen von grösserer Brechbarkeit als die violetten im Spectrum vorhanden. Die jenseits des Violett gelegenen übervioletten Strahlen haben Stokes (Philos. Transactions 1852, p. 558) und Helmholtz (Poggendorff's Annalen 1855, Bd. 94, p. 205 und Physiol. Optik p. 234) sichtbar gemacht, und zwar Helmholtz, indem er Bergkrystallprismen benutzte, welche die übervioletten oder ultravioletten Strahlen in geringerem Grade absorbiren, wie Glasprismen, und indem er alles andere Licht sorgfältig ausschloss: das überviolette Licht wurde dann als bläulich-weissgrau oder lavendelgrau empfunden. Helmholtz hat die Farbe auf Tafel IV. Figur 1 dargestellt. Helmholtz vermuthet indess, dass diese Farbe zum Theil von dem grünlichen Weiss, in welchem die Netzhaut fluorescirt, herrühre, und von einer nicht fluorescirenden Netzhaut reines Violett empfunden werden würde. Da dieser bedeutende Theil des Spectrums so gut wie gar nicht, der unterhalb des Roth gar nicht von der Sehsubstanz empfunden werden kann, so folgt daraus eine erhebliche Incongruenz zwischen

dem objectiv vorhandenen Lichte und den Lichtempfindungen unserer Sehsubstanz, und es scheint darnach auch gerechtfertigt und gefordert, die Licht- und Farbenempfindungen möglichst unabhängig von objectiv vorhandenen Verhältnissen als selbstständige physiologische Vorgänge zu untersuchen.

Im Speciellen ist zu berücksichtigen, dass das eigentliche Roth im Spectrum sehr schmal ist, wie Hering (Wiener Akademie-Berichte 1874, Bd. 69, III. § 42 bemerkt, und der gewöhnlich als Spectralroth genommene Farbenton viel gelb enthält: davon kommt wohl das Auftreten von Gelb, wenn prismatisches Roth und prismatisches Grün gemischt werden. — Ferner werden wir aus der Lage des Violett im Spectrum keinen Grund entnehmen können, dasselbe als eine einer reinen principalen Empfindung entsprechende Farbe anzusehen, da es vielmehr den Eindruck einer Mischung, in welcher zugleich Blau und Roth empfunden wird, macht. Denselben Eindruck machen die Farbentöne zwischen Roth und Gelb, Gelb und Grün, Grün und Blau, dass durch sie je zwei Principalempfindungen erregt werden, wie wir das ja auch sprachlich ausdrücken.

Ich hebe in dieser Beziehung noch hervor, dass wir die Farbentöne zwischen Grün und Blau zum Theil als Cyanblau oder Hellblau bezeichnen und anderseits Hellblau als eine Mischung von Weiss und Blau anzusehen pflegen. Volles Blau und Weiss gemischt geben aber eine ganz andere Empfindung als die des Hellblau, als dessen Repräsentanten wir die Farbe des blauen Himmels in unsern Breitegraden ansehen können (Helmholtz, Physiol. Optik p. 227), nämlich die Empfindung eines weisslichen Violett. Wenn wir z. B. eine weisse Scheibe mit blauem Sector von etwa 60° schnell rotiren lassen, so erscheint sie stark röthlich blau (Aubert, Physiologie der Netzhaut p. 137). Auch Brücke (Wiener Akademie-Berichte 1865, Bd. 51, Aprilheft, p. 10 der Abhandlung) hat diese Beobachtung bestätigt. Ich habe diese Erscheinung dahin erklärt, dass wir eine falsche Ansicht von dem Hellblau haben, indem wir dies nicht als Grünblau, sondern als Weissblau ansehen, und dann consequent eine Mischung aus Weiss und Blau für röthliches Blau halten müssen — ebenso, wie wenn wir ein helles Grün für Weiss zu halten veranlasst werden, wir dann ein wirkliches Weiss für röthliches Weiss erklären würden. Brücke stimmt dieser Erklärung bei unter der weiteren Annahme, dass die Veränderung des Ultramarinblau durch Zusatz von Weiss daher rührte, dass das Tageslicht nicht weiss, sondern hellroth sei, in Folge der Beimischung des durch die Sclerotica eindringenden rothen Lichtes. Mit Brücke's Annahme erklärt sich zugleich die von mir (l. c.) gemachte, von Brücke bestätigte und erweiterte Beobachtung, dass Orange mit Weiss gemischt mehr nach Roth hin verschoben wird.

Die einzelnen Farbentöne des Spectrums haben verschiedene Helligkeiten. Schon Newton (Opticks Book I. Prop. VII. Theor. VI. Ausgabe von 1717, p. 85) sagt: *it is to be noted, that the most luminous of the prismatick Colours are the yellow and orange. These affect the Senses more strongly than all the rest together. and next to these in strength are the red and green. The blue compared with these is a faint and dark colour, and the indigo and violet are much darker and fainter.* — Es ist aber die Frage, ob die Empfindung, welche ein Farbenton, z. B. Roth, erregt, eben so stark ist, wie diejenige, welche ein anderer Farbenton, z. B. Gelb oder Blau, bei gleicher objectiver Lichtstärke hervorbringt, ob also die verschiedene Intensität der Empfindung für die verschiedenen Farbentöne des Spectrums von objectiven Verhältnissen abhängig ist.

Es liegen zunächst Beobachtungen über die Helligkeiten der verschiedenen Abtheilungen des Spectrums vom Roth bis zum Violett vor im Vergleich mit farb-

losem Lichte von gewisser Helligkeit. FRAUENHOFER machte Bestimmungen über die Helligkeiten der Farbentöne des Sonnenspectrums (Denkschriften der Bayrischen Akademie München 1815, p. 193), indem er die Helligkeit der Farben verglich mit der Helligkeit eines durch eine kleine Flamme erleuchteten Spiegels. FRAUENHOFER hat trotz der offenbaren Unvollkommenheit dieser Methode Zahlen erhalten, welche von den mittelst einer viel vollkommneren Methode von VIERORDT gewonnenen Werthen nicht sehr differiren. VIERORDT (Anwendung des Spectralapparates zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. Tübingen 1871) geht von dem Gedanken aus, dass einer sehr intensiven Farbe eine grössere Menge von Weiss zugesetzt werden kann, ohne dieselbe merklich zu verändern, als einer weniger intensiven Farbe. Auf das durch einen Spectralapparat entworfene Spectrum leitet VIERORDT durch eine horizontale Spalte einen Streifen weissen Lichtes, welcher das Spectrum quer durchschneidet. Wird nun durch Abschwächung des weissen Lichtes die Lichtstärke des Streifens gemindert, so erhält letzterer einen schwachen Anflug von den benachbarten Spectralfarben — »geht die Minderung des weissen Lichtes noch weiter, so werden die Farben des Streifens immer mehr gesättigt, bis schliesslich die von den reinen Spectralfarben erleuchteten Stellen des Sehfeldes nicht mehr unterschieden werden können von der durch das abgeschwächte Weiss und die Spectralfarben zugleich erleuchteten Stelle.« Dieser Punkt tritt bei den verschiedenen Spectralfarben bei sehr verschiedenen Graden der Verdunkelung ein. Die Abschwächung des weissen Lichtes bewirkt VIERORDT durch photometrisch bestimmte Rauchgläser (*smoke-glasses*). Indem wir wegen der Anordnung, der Zuverlässigkeit der Apparate und Beobachtungen, der Vorsichtsmassregeln auf VIERORDT's Werk verweisen, geben wir in der folgenden Tabelle eine Uebersicht der photometrischen Bestimmungen FRAUENHOFER's und VIERORDT's für Sonnenlicht, diffuses Tageslicht, Gaslicht und Petroleumlicht, indem die grösste Helligkeit des Gelb zwischen den Frauenhofer'schen Linien D und $E = 1000$ gesetzt ist.

Tabelle XVI.

	Sonnenlicht.		Diffuses Tageslicht.	Gaslicht.	Petroleum.
	FRAUENHOFER.	VIERORDT.			
Roth *B*	32	22		200	18
Orange *C*	94	128	9	280	67
Röthlichgelb *D*	640	780	725	1550	988
Gelb *D*—*E*	1000	1000	1000	1000	1000
Grün *E*	480	370			
Blaugrün *F*	170	128	355	200	164
Blau *G*	31	8	119	90	21
Violett *H*	5,6	0,7	17	6	1,2

Da es sich in VIERORDT's Beobachtungen um einen Vergleich von reinen und von mit Weiss bis zur Ebenmerklichkeit gemischten Farbentönen des Spectrums handelt, so können die Beobachtungen ebenso wenig wie die FRAUENHOFER's als Bestimmungen der objectiven Helligkeiten in dem Sinne gelten, wie wir etwa durch Annäherung eines Lichtes an eine Fläche dieselbe als objectiv erhellt ansehen. Anderseits sind VIERORDT's Beobachtungen insofern weniger subjectiv, als

die von Fraunhofer, als es sich nicht um einfache Schätzungen, sondern um die Bestimmung von eben merklichen Unterschieden vergleichbarer Objecte handelt. — In wie weit aber die verschiedene Helligkeit der Abtheilungen des Spectrums auf Lichtmengen, und in wie weit sie auf grösserer oder geringerer Erregbarkeit für die eine oder andere Farbenart beruht, scheint für die reinen Spectralfarben nicht ermittelt zu sein.

§ 38. Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne und Farbenintensitäten. — Nachdem ich versucht hatte, mittelst rotirender Scheiben für Pigmentfarben die Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne zu bestimmen (Physiologie der Netzhaut p. 151) und gefunden, dass der Farbenton des Ultramarinblau durch Zusatz von $\frac{1}{360}$ Orange verändert wird, für andere Farben aber grössere Zusätze erforderlich sind, haben mehrere Schüler von Helmholtz unter dessen Leitung sehr genaue Untersuchungen über die Unterscheidbarkeit von Farbentönen des Spectrums angestellt. Mandelstamm (A. f. O. XIII. 2, p. 399) und Dobrowolsky (A. f. O. XVIII. 1, p. 66) bedienten sich zu ihren Bestimmungen der Methode, dass sie das Sonnenspectrum durch die Ophthalmometerplatten hindurch beobachteten und durch Drehung derselben eine Verdoppelung derselben und Verschiebung im Gesichtsfelde nach rechts und links hin bewirkten. Es erscheinen dann nebeneinander zwei verschiedene Farbentöne im Gesichtsfelde und es werden nun die Ophthalmometerplatten so lange gedreht, bis ein minimaler, eben noch merklicher Unterschied zwischen den beiden Farbentönen wahrgenommen werden kann. Aus dem Drehungswinkel der Ophthalmometerplatten kann dann die lineare Verschiebung des Spectrums berechnet werden (s. § 4), und aus dieser, den Werthen für die Wellenlängen der Frauenhofer'schen Linien, welche eingestellt wurden, und den Abständen der Frauenhofer'schen Linien von einander lässt sich dann der Bruchtheil bestimmen, welcher zur Wellenlänge der gegebenen Farbe selbst hinzukommen muss, damit ein Wechsel im Farbentone der betreffenden Farbe wahrgenommen werde.

Die Beobachtungen ergeben, dass die grösste Empfindlichkeit für Unterschiede im Farbentone im Gelb (D), demnächst im Cyanblau (F), dann im Blaugrün (zwischen E und F) liegt; erheblich geringer wird die Unterschiedsempfindlichkeit für indigblaue Farbentöne (G) für Grün, Violett, und am geringsten ist sie für Roth. Dobrowolsky hat dieselbe Reihenfolge, aber absolut viel grössere Empfindlichkeit gefunden, wie Mandelstamm, zum Theil wohl durch Verbesserung der Methode, namentlich Ausschluss von Helligkeitsdifferenzen (A. f. O. XVIII. 1, p. 102).

Für Linie	B	C	$C—D$	D	$D—E$	E
Unterschiedsempfindlichkeit	$\frac{1}{115}$	$\frac{1}{167}$	$\frac{1}{331}$	$\frac{1}{772}$	$\frac{1}{246}$	$\frac{1}{340}$
Für Linie	$E—F$	F	G	$G—H$		
Unterschiedsempfindlichkeit	$\frac{1}{615}$	$\frac{1}{740}$	$\frac{1}{272}$	$\frac{1}{146}$		

Dobrowolsky macht darauf aufmerksam, dass in Uebereinstimmung mit diesen Resultaten in der Mitte des Sonnenspectrums der Farbenton sehr schnell wechselt, im Roth und Violett dagegen die Farbentöne sehr langsam und kaum merklich in einander übergehen.

Es sind ferner von LAMANSKY (A. f. O. XVII. 1, p. 123) und von DOBROWOLSKY (A. f. O. XVIII. 1, p. 74) Untersuchungen über die Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede der Spectralfarben angestellt worden, indem für die einzelnen Farbentöne ermittelt wurde, eine wie grosse Helligkeitsdifferenz eben noch empfunden werden kann. Wir haben in § 25 gesehen, dass für weisses Licht die Unterschiedsempfindlichkeit bis $\frac{1}{186}$ steigen kann, mit Abnahme der absoluten Helligkeit aber sinkt.

LAMANSKY und DOBROWOLSKY haben gleichfalls gefunden, dass für alle Farben die Unterschiedsempfindlichkeit auch zunimmt mit der Zunahme der Intensität des objectiven farbigen Lichtes bis zu einer gewissen Grenze, von wo an sie wieder abnimmt. LAMANSKY findet nun die Unterschiedsempfindlichkeit für Gelb und Grün = $\frac{1}{286}$, für Blau $\frac{1}{212}$, also grösser, wie für Weiss — für Violett $\frac{1}{106}$, für Orange $\frac{1}{78}$, für Roth $\frac{1}{70}$, also kleiner, als für Weiss. DOBROWOLSKY findet nach einer anderen Methode (s. Chromatoptometrie von SNELLEN und LANDOLT dieses Handbuch Bd. III. p. 47) hiervon sehr abweichende Werthe und zwar

Tabelle XVII.

Farbe.	Frauenhofer'sche Linie.	Empfindlichkeit.
	A	$\frac{1}{14}$
Roth	*B*	$\frac{1}{20}$
	C	$\frac{1}{25}$
Orange	*C—D*	$\frac{1}{33}$
Goldgelb	*D*	$\frac{1}{46}$
Grün	*D—E*	$\frac{1}{59}$
Blaugrün	*E—b*	$\frac{1}{67}$
Cyanblau	*F*	$\frac{1}{132}$
Indigo	bei *G*	$\frac{1}{268}$
Violett	*G—H*	$\frac{1}{268}$
-	*H*	$\frac{1}{67,33}$

DOBROWOLSKY'S Unterschiedsempfindlichkeit für Weiss ist = $\frac{1}{166}$; er lässt es aber zweifelhaft, ob er für jede Spectralfarbe die absoluten Grenzwerthe wirklich erreicht habe (cf. l. c. p. 84—86). — Bei DOBROWOLSKY würden also nur für die Farbentöne des Indigo und Violett grössere Unterschiedsempfindlichkeiten als für Weiss vorhanden sein.

§ 39. Unterschiedsempfindlichkeit für Farbennüancen. — Bezeichnen wir die Mischung eines Farbentones oder eines Pigmentes mit Weiss, Grau oder Schwarz als Farbennüance, so erhalten wir auch hier verschiedene

Mischungen, deren Unterschiede empfunden werden. Die Grenze für die Empfindlichkeit des Auges gegen Farbennüancen habe ich zuerst zu bestimmen gesucht, indem ich farbige Sectoren auf weissen oder dunkelgrauen Scheiben, oder weisse Sectorabschnitte auf farbigen Scheiben anbrachte und bestimmte, bei welcher Menge der beigemischten Farbe oder des beigemischten Weiss ein Unterschied eben noch wahrgenommen werden könnte. (Physiologie der Netzhaut 1865, p. 138—150.) Ich habe mich dazu der rotirenden Masson-Maxwell'schen Scheiben bedient (s. Figur 50 *B* § 25), und gefunden, 1) dass auf einer weissen Scheibe ein farbiger Sector (Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau) immer erkannt wird, wenn derselbe 3° beträgt, in der Mehrzahl der Fälle sogar, wenn er 2° beträgt (s. Phys. d. Netzh. Tabelle XXI, p. 139); die Unterschiedsempfindlichkeit würde demnach $\frac{1}{120}$ bis $\frac{1}{180}$ betragen; 2) dass auf einer dunkelgrauen (schwarzen Papier-) Scheibe ein Sector von 1° immer einen deutlichen farbigen Kranz bildet (Roth, Orange und Blau), ohne dass damit die Grenze für die Erkennbarkeit erreicht worden war; 3) dass ein farbiger Sectorabschnitt dieser Pigmente als farbiger Kranz erschien, wenn für 1° Orange dem Schwarz des Grundes 105° Weiss, für 1° Roth 38° Weiss, für 1° Blau 29° Weiss zugesetzt, damit also der Grund der Scheibe bedeutend heller gemacht wurde; 4) dass ein Kranz von verschiedener Nüance noch erkannt werden kann, wenn der Kranz aus 106° Orange und 254° Schwarz, der Grund der Scheibe aus 105° Orange und 255° Schwarz zusammengesetzt ist, ferner bei 61° Roth und 299° Schwarz für den Kranz und 60° Roth, 300° Schwarz für den Grund — bei 66° Blau und 294° Schwarz und 65° Blau und 295° Schwarz für den Grund der Scheibe. — Woinow (A. f. O. 1870, XVI. 1, p. 256) hat diese Versuche auf Helmholtz' Anregung und unter seiner Leitung wiederholt, und im Wesentlichen meine Erfahrungen bestätigt, ohne, wie es scheint, dieselben gekannt zu haben. Auf einer schwarzen Scheibe genügte für sein Roth ein Sector von 48′, für Orange 42′, für Blau 54′ — auf einer weissen Scheibe musste der Sector von Roth 3° 11′ von Orange 2° 57′, von Blau 2° 32′ betragen, auf einer hellgrauen Scheibe etwas weniger, auf einer dunkelgrauen Scheibe Roth etwas mehr, Orange und Blau noch weniger. — Auch J. J. Müller (A. f. O. XV. 2, p. 243) scheint ähnliche Resultate erhalten zu haben.

Aus den Untersuchungen dieses und des vorhergehenden Paragraphen ergiebt sich, dass wir befähigt sind, eine ganz ausserordentlich grosse Anzahl von Färbungen zu unterscheiden, da jeder Farbenton, welcher unterschieden werden kann, nach seiner Intensität in sehr weitem Umfange verschieden sein, und die Töne und Intensitäten wiederum in alle möglichen Nüancirungen verändert werden können. Die Zahl der Farbenempfindungen, die wir unterscheiden können, müssen wir wenigstens auf viele Millionen berechnen.

§ 40. Einfluss der Helligkeit auf die Farbenempfindung. — Dass Pigmente bei verminderter Beleuchtung, z. B. in der Dämmerung farblos erscheinen, hat schon Purkinje (Beiträge II. p. 109) angemerkt, auch ist es ihm schon aufgefallen, dass Blau bei geringerer Helligkeit sichtbar wurde, als Roth und Grün, was später auch wieder von Grailich (Wiener Akademie-Berichte 1854, Bd. 52, p. 252) erwähnt wurde. Ich (Physiologie der Netzhaut p. 125) habe verschiedene sehr lebhafte Pigmente bei schwacher Beleuchtung beobachtet,

indem ich dieselben mittelst der Oeffnung quadratischer Diaphragmen (Figur 48 in § 25) im übrigens finstern Zimmer beleuchtete, den farbigen Flächen eine bestimmte Ausdehnung gab und sie theils auf schwarzem, theils auf weissem Grunde befestigte. Es hat sich dabei ergeben, dass Pigmente bei sehr verminderter Beleuchtung farblos erscheinen, aber sich durch grössere oder geringere Helligkeit von ihrer Umgebung unterscheiden.

Bei 10 Mm. Seite der quadratischen Lichtquelle des Diaphragmas erschienen Quadrate farbiger Pigmente unter einem Gesichtswinkel von etwa 35 Minuten folgendermassen:

Auf weissem Grunde:

1) Schwarz, Braun, Roth, Orange, Dunkelgrün erscheinen schwarz.
2) Blau erscheint etwas weniger tiefschwarz.
3) Grün und Hellblau bedeutend heller.
4) Rosa noch heller.
5) Gelb am hellsten.

Auf schwarzem Grunde:

1) Roth am dunkelsten, dann folgten allmälig immer heller erscheinend
2) Orange und Dunkelgrün,
3) Blau und Grau,
4) Grün und Hellblau,
5) Rosa und Gelb,
6) Weiss erschien bei weitem am hellsten.

Besonders auffallend ist hierbei der Unterschied des Zinnoberroth und des Ultramarinblau: letzteres erscheint sehr auffallend heller auf schwarzem Grunde als ersteres, ohne dass die geringste Farbe von demselben wahrgenommen werden konnte, während im diffusen vollen Tageslichte man das Blau eher für dunkler erklären würde, als das Roth. Um so wunderbarer erscheint es dem gegenüber, dass die Farbenempfindung beim Roth bei geringerer Helligkeit auftritt, als beim Blau.

Ausserdem ändert sich auch der Farbenton bei schwacher Beleuchtung: Roth (Zinnober) erscheint auf schwarzem wie auf weissem Grunde als ein schönes dunkles Braun; Orange sehr dunkel und rein roth; Gelb erscheint schmutzig grau mit einem Stiche ins Röthlichgelbe und ist bei einer gewissen Beleuchtungsintensität von Rosa nicht zu unterscheiden; Grün und Hellblau sehen ganz gleich aus; das volle Ultramarinblau sieht auf schwarzem Grunde etwa wie graublaues Actenpapier aus, auf weissem Grunde ist es sehr tief dunkelblau, mit einer eigenthümlichen, an Sammet erinnernden Weichheit der Oberfläche. Etwas andere Veränderungen giebt Hochecker (A. f. O. 1873, XIX. 3, p. 32) an, namentlich wird für Grün, Blau und Violett eine Empfindung von Grünlichgrau in verschiedenen Helligkeitsgraden angegeben.

Ausser der Umgebung des Pigmentes ist bei schwacher Beleuchtung von Einfluss auf die Farbenempfindung die Grösse oder der Gesichtswinkel derselben.

Den Einfluss des Gesichtswinkels auf die Wahrnehmung der Farbe werden wir im nächsten Paragraphen für die volle Beleuchtung durch diffuses Tageslicht besprechen — hier bemerke ich, dass in Bezug auf rothe und blaue Pigmente auf schwarzem Grunde das Verhältniss zwischen Gesichtswinkel und Beleuchtungsintensität sehr verschieden ist für eine eben merkliche Farbenempfindung.

Ich betrachtete rothe und blaue Quadrate aus gleicher Entfernung und vergrösserte allmälig die Oeffnung des quadratischen Diaphragmas, bis ich die Objecte farbig sah: die folgende Tabelle giebt die Lichtintensitäten und Gesichtswinkel (nach der Seite der Quadrate berechnet) an, unter denen die Quadrate farbig erschienen. Die Lichtintensität 1 entspricht einer Oeffnung des Diaphragmas von 40 Mm. Seite.

Tabelle XVIII.

Licht-intensitäten.	Gesichtswinkel Rothe Quadrate.	Gesichtswinkel Blaue Quadrate.
1	1° 13′ 22″	1° 13′ 22″
1,56	36′ 41″	—
1,96		36′ 41″
2,89	18′ 20″	
3,81	—	18′ 20″
6	9′ 10″	
7.84	—	9′ 10″
11,38	4′ 35″	
25	2′ 17″	6′ 53″

Mit Abnahme des Gesichtswinkels für die farbige Fläche muss also eine Zunahme der Beleuchtungsintensität eintreten, wenn eine Farbenempfindung ausgelöst werden soll und die Zunahme der Beleuchtungsstärke muss grösser sein für Blau, als für Roth.

Bei diesen Versuchen ist der Umstand auffallend, dass die Farbe der Pigmente bei schwächster Beleuchtung nur im ersten Momente des Anschauens empfunden wird, nach wenigen Sekunden aber ganz verschwindet, ohne dass sich die Sichtbarkeit des Objectes ändert. Aehnliches hat Hering (Wiener Akademie Berichte 1874, Bd. 69, III. Maiheft § 46) beobachtet; er findet auch für Spectralfarben, dass wenn man eine Linie im Spectrum des zerstreuten Tageslichtes bei Abblendung aller übrigen Farben fixirt, die Farbe zusehends verblasst. Verengt man sodann den Spalt hinreichend, so schlägt, während die Spectrallinien noch deutlicher werden, die fixirte Farbe in einen die Gegenfarbe mehr oder weniger deutlich enthaltenden Ton um. Ein kurzer Verschluss des Auges genügt, um nachher die Farbe wieder zu sehen trotz der Lichtschwäche des Spectrums. — Der Erklärung Hering's, dass das Verschwinden der Farbenempfindung auf einer Entwickelung der Gegenfarbe beruhe, kann ich nur beistimmen. Im Ganzen treten die Versuche bestätigend für den von Hering aufgestellten Satz ein, »dass die schwarz-weiss empfindende Substanz viel reichlicher im Sehorgan enthalten ist, als die roth-grün und die gelb-blau empfindende, und dass auch diese beiden unter einander nicht gleich sind.« Wir werden weitere Bestätigungen hierfür im nächsten Paragraphen vorzubringen haben. Wegen des Näheren über die Anstellung der Versuche und specielle Ergebnisse verweise ich auf meine Physiologie der Netzhaut p. 124—132.

Ich bemerke hierzu, dass nach diesen Versuchen auch das ganz normale Auge bei schwacher Beleuchtung farbenblind wird und die Versuche zur Bestätigung des früher von mir ausgesprochenen Satzes dienen, dass die Farbenempfindlichkeit des normalen Auges nur quantitativ verschieden ist von der Farbenempfindlichkeit chromotopseudoptischer Augen.

Hieran schliesse ich die Mittheilung von Versuchen, welche Herr Dr. LANDOLT in Paris mir gütigst übergeben hat.

Herrn Dr. LANDOLT's Versuche über Farbenperception bei minimaler Beleuchtung und zunehmender Adaptation.

I.

An der Wand eines verdunkelten Zimmers werden eine Menge farbiger Quadrate von 2 Mm. Seite auf schwarzem Sammet angebracht. Ich hatte sie noch nie gesehen und kannte ihre Anordnung nicht.

Erst sah ich davon gar nichts. Nach längerer Adaptation erscheinen mir einige als helle Flecke, die geradezu leuchten, wenn das Licht auf der *Fovea centralis* benachbarte Retinaltheile fällt und das Auge daran vorbeisieht. (Es sind die Farben gelb und grün, werden aber noch nicht als solche erkannt.) — Gleich darauf erkenne ich die gelben Quadrate als solche und hernach bekommen die grünen grünlichen Schein. Ihre Farbe ist nicht merklich intensiver beim Daranvorbeisehen, wohl aber ihre Helligkeit. Hierauf erscheinen eine Anzahl Quadrate dunkel, unbestimmt, darnach dunkel rothbraun, endlich roth (sie sind dunkelroth). — Später erst erkenne ich die blauen und zuletzt die violetten.

II. Herabgesetzte Beleuchtung.

Zwei Paare farbiger Quadrate von je 2 Mm. Seite und Distanz der Quadrate, von einander 50 Mm. entfernt, werden auf schwarzem Grunde, wie Figur 65 zeigt, gruppirt.

Fixire ich bei minimaler Beleuchtung (d. h. bei so schwachem Lichte, dass gerade noch Roth und Blau in seiner Farbe erkannt wird) auf 60—70 Ctm. Abstand mit dem rechten Auge das Blau, dann erscheint es mir bald dunkel und verschwindet ganz, taucht wieder auf und verschwindet wieder, um verschwunden zu bleiben, um so sicherer, wenn ich ruhig den Zwischenraum zwischen beiden blauen Quadraten fixire. Zu gleicher Zeit wird auch das periphere Roth in Form und Farbe undeutlicher. (Beide Farben, auch das Blau, werden sofort deutlich, wenn ich nur wenig daran vorbei fixire.)

Fig. 65.





Fixire ich dagegen das Roth, so erscheint es selbst deutlich roth und auch das Blau zu gleicher Zeit deutlich blau und bleibt so, ohne zu verschwinden. Dasselbe, wenn man den Sammet um 180° dreht, so dass die Stellung der Farbe wechselt.

Mit einem Wort: kleine blaue Objecte erscheinen bei herabgesetzter Beleuchtung deutlicher in der Peripherie als im centralen Sehen, rothe umgekehrt.

Nehme ich zu den Versuchen dasselbe Roth, aber statt Blau intensives Hellgrün, dann scheint mir das Hellgrün in seiner richtigen Farbe, wenn ich es fixire, das Roth undeutlicher. Fixire ich das Roth, so scheint dieses deutlich, während ich das Grün hell leuchten sehe, aber kaum als Grün erkenne. Aber Grün wie Roth erscheint mir deutlicher beim directen Sehen.

Mache ich dieselben Versuche mit Violett und Hellgelb, so scheint bei minimalem Lichte, wobei Violett kaum mehr als solches kennbar, das Violett bei

Fixation nur einen Moment in seiner Farbe, verschwindet dann; das Gelb zu gleicher Zeit sehr hell, fast weisslich. — Fixire ich dagegen das Gelb, dann scheint dieses deutlich. Zu gleicher Zeit erscheint auch Violett wieder hell und bleibt so, ist aber kaum als Farbe zu erkennen, jedenfalls nicht so gut als im ersten Moment eigner Fixation. Aehnlich verhält sich das Violett bei Prüfung des indirecten Sehens, lange sehe ich eine Helle, ehe ich Violett als solches erkenne. Nähere ich dagegen das Auge den Objecten, oder wird die Beleuchtung stärker, dann sehe ich immer die Farbe saturirter, welche ich fixire, die andere undeutlich. — Violett erscheint mir auch bei Tageslicht blasser, wenn ich das Gelb fixire und überhaupt, wenn ich daran vorbeisehe auf schwarzem Grunde. (Diese Versuche hat Prof. Donders mitgemacht, repetirt und dieselben Resultate gefunden.)

Dieselben farbigen Objecte auf weissem Grunde erscheinen immer beim directen Sehen heller und in ihrer wirklichen Farbe. — Fällt ihr Licht auf die Peripherie der Retina, so erscheinen mir alle dunkler und nicht in ihrer Farbe, am wenigsten Orange und sehr helles Grün.

Endlich ist noch zu erwähnen, dass nach den Versuchen von Burckhardt und Faber (Pflüger's Archiv für Physiologie Bd. II. 1869, p. 127) zur Auslösung einer minimalen Farbenempfindung die Intensität oder Helligkeit der Farbe zunehmen muss, wenn die Dauer des Farbeneindrucks abnimmt. Burckhardt und Faber fanden, dass im Mittel für die verschiedenen Farbentöne die Lichtstärke für Burckhardt 173 Mal, für Faber 513 Mal grösser sein musste, wenn der Eindruck 0,0029 Sekunden dauerte, als bei anhaltendem Betrachten der Farbe.

Burckhardt und Faber stellten ihre Versuche mit einer von Vierordt (l. c. p. 121) construirten Pendelvorrichtung an, welche die genaue Bestimmung der Zeit, während welcher ein Object sichtbar ist, ermöglicht und auch Veränderungen der Zeit innerhalb gewisser Grenzen gestattet. Als Object dienten farbige Gläser vor einer durch Petroleumlicht von hinten beleuchteten Milchglasplatte von variabler und messbarer Helligkeit, auf welche der Beobachter durch den 2 Mm. breiten und 60 Mm. langen Spalt des Pendelapparates blickt. Einerseits wurden nun die Lichtintensitäten bestimmt, welche erforderlich waren, wenn bei dauerndem Lichteindruck die Farbe richtig erkannt werden sollte, anderseits die Lichtintensitäten, welche der Milchglasplatte ertheilt werden mussten, wenn das Object 0,0029 bis 0,0144″ lang sichtbar wurde. Bei geringster Lichtstärke und geringster Reizdauer wurden noch erkannt Hellgelb, dann folgt Gelb, dann bei

Burckhardt: Hellblau, Blau, Grün, Grasgrün, Violett, Roth; bei
Faber: Blau, Grün, Grasgrün, Hellblau, Roth, Violett.

§ 41. **Einfluss des Gesichtswinkels auf die Farbenempfindung beim directen Sehen.** — Die Erfahrung der Astronomen, dass Fixsterne, also Objecte ohne scheinbaren Durchmesser, farbig erscheinen können, beweist, dass die Grösse des Objectes für die Farbenempfindung nicht allein massgebend ist, dass ausserdem auch die Helligkeit oder die Intensität der Farbe zu berücksichtigen ist.

Struve (Mensurae micrometricae stellarum compositarum 1837) sagt in dieser Beziehung p. 75: *In stellis minimis colores ob debilitatem evanescunt. Ordo stellarum nonus in mea notatione postremus videtur esse, in quo colores sine dubitatione possunt percipi.* Struve hat aber

ausserdem noch gefunden, dass die farbig erscheinenden Sterne zugleich auch weisses Licht ausstrahlen, also nicht einmal die denkbar günstigsten Verhältnisse für die Erregung der Farbenempfindung bei ihnen gegeben sind. STRUVE sagt hierüber p. 74: *Si stella splendida rubra horizonti est vicina, imaginem videmus prismaticam, quae omnes exhibet colores, in qua vero color ruber est maioris intensitatis, quam in imagine stellae albae — simili modo stella caerulea imaginem offert, in qua caeruleus praevalet color ... Ex qua experientia probabile fit, nullas in coelo esse stellas, quae singulum offerant colorem prismaticum, sed omnes colores in omnibus esse conjunctos, ita tamen ut aequilibrium colorum, ut ita dicam, non semper servetur.*

Schon PURKINJE (Commentatio de examine organi visus etc. Breslau [Habilitationsschrift zur Professur] 1823, p. 15) hat darauf aufmerksam gemacht, dass für die Wahrnehmbarkeit der Farben Gesichtswinkel und Intensität in Betracht kommen: *sensibilitas oculi in specificam coloris cuiusdam qualitatem ad diversas distantias et sub certis gradibus luminis examinari poterit; nam notum est, qualitatem illam colorum in obiectis affatim minutis ad iustas distantias evanescere.*

Der erste, welcher das Verschwinden der Färbung bei sehr kleinem Gesichtswinkel beobachtet hat, scheint PLATEAU (Poggendorff's Annalen 1830, Bd. 20, p. 327) zu sein, welcher angiebt, dass farbige Quadrate von 1 Centimeter Seite ihm in einer gewissen Entfernung nur als eine kleine, kaum wahrnehmbare Wolke erschienen seien. Ferner bemerkt VALENTIN (Lehrbuch der Physiologie 1848, II^{b}. p. 154): »die Farbe des Gegenstandes verschwand früher, als das Bild desselben« und ähnliches hat E. H. WEBER (Müller's Archiv 1849, p. 279) bemerkt.

Ich (Abhandlungen der Schlesischen Gesellschaft, Breslau 1861, p. 74, und Moleschott's Untersuchungen VIII. p. 275) habe besondere Versuchsreihen über die Wahrnehmbarkeit der Farbe im Vergleich mit der Wahrnehmbarkeit des farbigen Objectes überhaupt angestellt, indem ich farbige Doppelquadrate von je 10 Mm. Seite und gleicher Distanz von einander im diffusen, aber recht hellen Tageslichte aufstellte und mich von denselben immer mehr entfernte, oder aus einer Entfernung, in welcher ich von den Objecten nichts sehen konnte, mich denselben ganz allmälig näherte und die Entfernung ablas, in welcher ich die Objecte ungefärbt und in welcher ich sie farbig sah. Es ist bei diesen Versuchen sehr auffallend und für die Bestimmung der Grenze der Farbenempfindung oft störend, dass die Pigmente unter sehr kleinem Gesichtswinkel in anderem Farbentone und anderer Nüance erscheinen: Orange erscheint immer farbig, aber bei 39″ roth, bei 59″ orange, Roth auf schwarzem Grunde bei 59″ gleichfalls roth, auf weissem Grunde bei 59″ schwarz, bei 1′ 43″ farbig, Ultramarinblau auf schwarzem Grunde bei 1′ 14″ grau, bei 4′ 17″ blau, auf weissem Grunde bei 1′ 8″ schwarz, erst bei 5′ 43″ blau, Hellblau und Hellgrün erscheinen bei 1′ 8″ beide gleich grau, hell auf schwarzem, dunkel auf weissem Grunde, erst bei etwa 2′ können sie als blau und grün unterschieden werden, bei 1′ 49″ erschien Hellblau auf weissem Grunde tief dunkelblau.

Herr Dr. LANDOLT theilt mir über den Eindruck kleiner farbiger Objecte bei allmäliger Annäherung Folgendes mit:

Auf weissem Grunde farbige Quadrate von 2 Mm. Seite. Helles, nicht blendendes Tageslicht.

In der Ferne erscheinen mir alle dunkel, einige schwarz. Nähere ich mich,

dann werden heller Orange und Grün, aber noch nicht als solche erkannt. Erst wird erkannt Orange, dann Hellgrün, hierauf Roth (dunkel), es war erst schwarz. Lange nachher, d. h. bei stärkerer Annäherung erst erkenne ich blau und fast gleichzeitig (vielleicht *per exclusionem*) Violett.

Ich habe später (Physiologie der Netzhaut p. 115) noch Versuche in der Weise ausgeführt, dass ich farbige Quadrate von 2 Mm. Seite beobachtete, indem ich die Augen durch eine schwarze Maske mit geschwärzten Röhren vor dem Auge vor dem Eindringen des diffusen Lichtes von den Seiten her schützte und habe dann unter erheblich kleineren Gesichtswinkeln die Objecte sichtbar und bei Vergrösserung der Gesichtswinkel farbig erscheinen sehen.

Zu wesentlich gleichen Resultaten ist v. Wittich (Königsberger medicinische Jahrbücher 1864, Bd. IV, p. 37) in sehr ausgedehnten Versuchsreihen gekommen, in welchen sich derselbe ausserdem die Aufgabe stellte, zu untersuchen, wie sich die Sichtbarkeit und Farbenwahrnehmung von Objecten bei minimalem Gesichtswinkel verhielte, wenn sie dauernd und wenn sie nur momentan gesehen würden. Ich gebe die Resultate der von Wittich'schen Beobachtungen in Tabelle XIX auf Winkelgrössen berechnet, um sie mit meinen Angaben vergleichbar zu machen.

Tabelle XIX.

Grössen der farbigen Quadrate = 2 Mm. Seite. (Hellwolkiger Vormittag.)

Farbe der Quadrate.	Momentane Betrachtung		Dauernde Betrachtung	
	sichtbar.	farbig.	sichtbar.	farbig.
Schwarzer Grund.				
Roth	1′ 23″	1′ 58″	—	1′ 4″
Orange	1′ 4″	1′ 32″	—	1′ 4″
Gelborange	1′ 9″	1′ 32″	—	1′ 14″
Gelb	1′ 23″	1′ 23″	—	1′ 4″
Hellgrün	1′ 23″	1′ 43″	1′ 4″	1′ 43″
Dunkelgrün	2′ 17″	6′ 53″	2′ 17″	3′ 16″
Hellblau	1′ 14″	2′ 17″	1′ 14″	1′ 43″
Dunkelblau	2′ 17″	7′ 38″	1′ 58″	3′ 26″
Rosa	1′ 14″	2′ 17″	—	1′ 32″
Violett	1′ 43″	6′ 53″	—	3′ 26″
Weisser Grund.				
Roth	1′ 23″	6′ 53″	1′ 9″	2′ 50″
Orange	1′ 43″	3′ 8″	1′ 4″	1′ 32″
Gelborange	2′ 17″	5′ 43″	2′ 17″	2′ 50″
Gelb	—	6′ 53″	—	3′ 26″
Hellgrün	2′ 17″	3′ 26″	—	1′ 43″
Dunkelgrün	1′ 23″	13′ 46″	—	13′ 46″
Hellblau	1′ 23″	4′ 35″	1′ 9″	1′ 43″ (2′ 17″)
Dunkelblau	1′ 23″	5′ 17″	1′ 4″	2′ 17″
Rosa	1′ 43″	4′ 35″	1′ 9″	2′ 50″
Violett	1′ 32″	13′ 46″	1′ 9″	5′ 43″

Allerdings differiren in v. Wittich's und meinen Bestimmungen die Zahlen sehr erheblich, indess ist das auch der Fall bei meinen Beobachtungen, wenn ich sie unter einander vergleiche, und ebenso in v. Wittich's Beobachtungen unter einander verglichen; dies rührt zum Theil von der Beleuchtung, den angewendeten Pigmenten und dergleichen her, zum grösseren Theile aber wohl von der subjectiven Unsicherheit über die äusserste Grenze, welche man für die Wahrnehmbarkeit setzt. Dazu kommt der Umstand, den auch v. Wittich hervorhebt, dass sich bei sehr kleinen Gesichtswinkeln Farbenton und Farbennüance verändern.

Plateau's Ausdruck, dass die farbigen Objecte schliesslich »als eine kleine, kaum wahrnehmbare Wolke« erscheinen, ist sehr treffend, denn erstens ist von einer Form des Objectes nichts zu erkennen, und zweitens erkennt man das Object nur auf Augenblicke beim scharfen Fixiren. Auch die Färbung ist immer nur auf Augenblicke und bei Bewegungen der Augen oder des Kopfes erkennbar — will man das Object festhalten, so wird es sogleich farblos. Auch dies ist in Uebereinstimmung mit Beobachtungen v. Wittich's, in denen er (l. c. p. 50) farbige Fäden sich bewegend und ruhend aus gewissen Entfernungen sah: die sich bewegenden Fäden wurden aus viel grösserer Entfernung als farbig erkannt.

Die bisherigen Erfahrungen lassen sich nun etwa so zusammenfassen:

1) die meisten Pigmentfarben erscheinen bei voller Tagesbeleuchtung auf schwarzem oder weissem Grunde unter kleinstem Gesichtswinkel farblos, als helle bezw. dunkle Flecke;

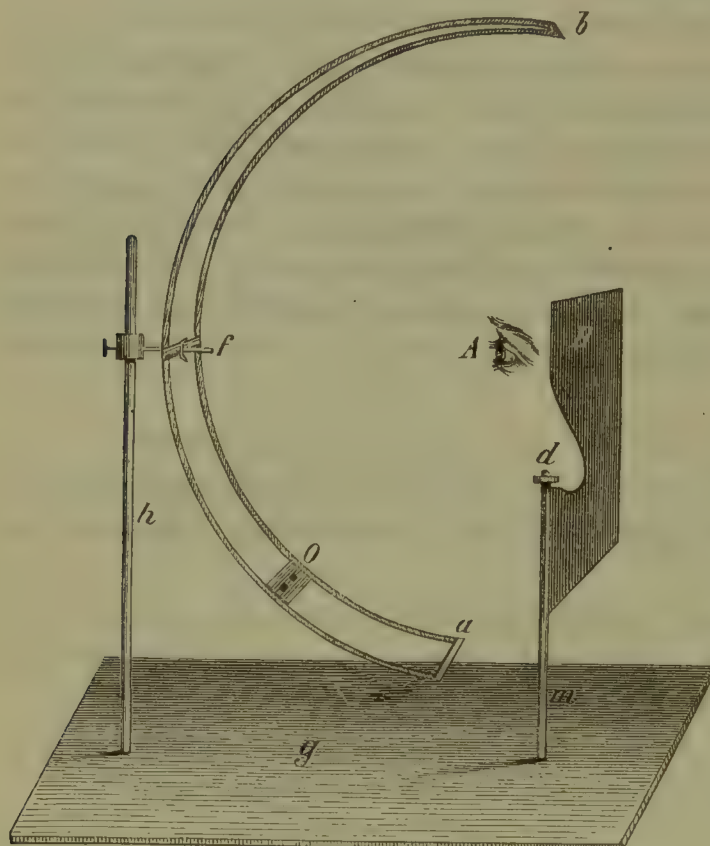
2) bei etwas weniger kleinem Gesichtswinkel erscheinen sie farbig, aber mit verändertem Farbentone und veränderter Nüance, und zwar dunkler auf hellem, heller auf dunklem Grunde;]

3) die Principalfarben Roth, Grün, Gelb und Blau zeigen sehr erhebliche quantitative Differenzen in Bezug auf Erregung der Farbenempfindung.

§ 42. Die Farbenempfindung beim indirecten Sehen. — Wie beim Fixiren eines farbigen Objectes oder dem Betrachten mit der *Fovea centralis* der Netzhaut die Farbenempfindung bedingt ist durch eine gewisse scheinbare Grösse und Helligkeit des Objectes, so finden wir auch für die peripherischen Theile der Netzhaut, dass farbige Objecte unter gewissen Gesichtswinkeln farblos erscheinen. Dass indirect gesehene Objecte farblos erscheinen, hat zuerst Troxler (Himly und Schmidt's Ophthalmologische Bibliothek 1802, II, Stück 2, p. 51), dann Purkinje (Beiträge zur Kenntniss des Sehens I. p. 76 und II. p. 14) und Hueck (Müller's Archiv 1840, p. 95) bemerkt. Später habe ich (A. f. O. 1857, III. 2, p. 38) ausführliche messende Versuche über die Farbenempfindung beim indirecten Sehen angestellt, welche dann mit mancherlei Modificationen aber nach wesentlich derselben Methode von Schelske (A. f. O. 1863, IX. 3, p. 39. cf. III. 1, p. 68 dieses Handbuchs), Woinow (A. f. O. 1870, XVI. 1, p. 212), Raehlmann (Ueber Farbenempfindung in den peripherischen Netzhautpartien. Diss. inaug. Halle 1872), Brisewitz (Ueber das Farbensehen etc. Diss. inaug. Greifswald 1872), Schirmer (A. f. O. 1873, XIX. 2, p. 194), Landolt (Il Perimetro in Quaglino Annali d'Ottalmologia 1871, p. 1 und Annales d'Oculistique 1874, p. 1.

cf. III. dieses Handbuches p. 67), Reich (Klinische Monatsblätter 1874, p. 247 fortgesetzt und erweitert, auch auf pathologische Augen ausgedehnt worden sind. — Ich habe mich zuerst einer Vorrichtung zu diesen Untersuchungen bedient, welche später von Förster (Möser, Das Perimeter und seine Anwendung. Diss. inaug. 1869) den Namen Perimeter erhalten hat. Der Apparat besteht aus einem Halbkreise mit Gradtheilung afb Figur 66, in welchem die Objecte O vom Centrum nach der Peripherie und umgekehrt verschoben werden können, während das im Mittelpunkte des Halbkreises befindliche Auge des Beobachters A den Punkt f unverrückt fixirt. Der Schirm B mit dem Ausschnitte d für die Nase des Beobachters ist um seine Axe m drehbar und dient zur Verdeckung des andern Auges. Der Halbkreis ist nach oben und unten verschiebbar an der Stahlstange h und drehbar um die Axe f. Das auf einem weissen oder schwarzen Papiercarton angebrachte farbige Quadrat in O wird bei den Beobachtungen lateralwärts oder medianwärts so weit geschoben, bis keine Färbung mehr wahrgenommen werden kann, bezw. bis eine Spur von Färbung bemerkt werden kann. Durch Drehungen des Halbkreises um die Axe bei f ist es möglich, denselben für die verschiedenen Meridiane der Netzhaut einzustellen und die Grenzen der Farbenempfindung in den verschiedenen Meridianen zu untersuchen. — Die Beschreibung anderer Perimeter s. bei Snellen und Landolt, dieses Handbuch III. 1, p. 56 u. f.*)

Fig. 66.



Die Werthe, welche ich bei meinen Untersuchungen gefunden habe, sind auf den beiden folgenden Tabellen (S. 542 und 543) zusammengestellt; die Bezeichnungen der Meridiane sind auf die Netzhaut zu beziehen. Die Grössen der Quadrate entsprechen, da der Radius des Halbkreises = 200 Mm. ist, Gesichtswinkeln von je 17′ 10″ für 1 Mm. Seite.

*) Mit Rücksicht auf die Angaben III. 1, p. 54 dieses Handbuches bemerke ich, dass der erste Perimeter von mir angegeben und 1857 in Archiv f. Ophthalm. III. 2, p. 40, später Poggendorff's Annalen 1861, Bd. 115 und Physiologie der Netzhaut 1864, p. 116 abgebildet worden ist. Erst im Jahre 1869 ist von Möser der von Förster modificirte und Perimeter genannte Apparat in seiner Dissertation beschrieben worden, ohne dass Möser trotz des stellenweise historischen Tenors seiner Dissertation meiner erwähnt.

Die Zahlen dieser Tabellen differiren allerdings in manchen Punkten von denen, welche LANDOLT und SCHIRMER gefunden haben, indess ist im Ganzen eine genügende Uebereinstimmung, wenn man berücksichtigt, dass LANDOLT's farbige Objecte eine Grösse von 3° 20', SCHIRMER's Objecte eine Grösse von 5° 4', die meinigen Grössen von 17' 10'' — 34' 20'' — 1° 9' — 2° 17' — 4° 34' — 9° 8' hatten. LANDOLT's Zahlen (III. 1, p. 69 dieses Handbuchs und Ann. d'Ottalm. Tav. VII[a], Schema I) stimmen übrigens auch nur theilweise mit SCHIRMER's (l. c. p. 198) Zahlen. Auch SCHÖN's Zahlen (Klinische Monatsblätter 1873, p. 175) und TREITEL's Zahlen (Periphere und centrale Farbenperception etc. Inaug.-Diss. Königsberg 1875) weichen nicht erheblich ab. Im Ganzen hat LANDOLT höhere Zahlen erhalten als SCHIRMER und ich, was sehr wohl von der Verschiedenheit der Pigmente, der Beleuchtung, aber auch von individuellen Verhältnissen, namentlich einer andern Beurtheilung der Farblosigkeit herrühren kann.

Durch meine Versuche wurde festgestellt

1) der grosse Einfluss, welchen die Umgebung der Pigmente auf die Farbenempfindung auch beim indirecten Sehen hat, wie ein Vergleich von Tabelle XX[a] mit Tabelle XX[b] lehrt,

2) der Umstand, dass die Grösse des farbigen Objectes massgebend ist für die Entfernung vom Centrum, in welcher es noch farbig empfunden wird (siehe Figur 67 S. 544). — Die gegentheilige Behauptung WOINOW's (l. c. p. 219), dass die Grenze für die Farbenempfindung immer dieselbe ist, wenn die Gesichtswinkel nicht von der Mitte, sondern von dem dem Auge zugekehrten Rande der Pigmentfläche an gerechnet werden, muss ich nach vielfacher, wiederholter Untersuchung für falsch erklären. Auch RAEHLMANN, SCHÖN (Klinische Monatsblätter 1873, p. 171) und SCHIRMER (l. c. p. 202) sprechen sich entschieden gegen WOINOW's unbegründete Behauptung aus. KRÜKOW (Archiv für Ophthalm. 1874, XX. 1, p. 255) giebt Versuche an, wonach es keinen Unterschied macht, ob Quadrate von 3 Mm.^{2}, 6 Mm.^{2} oder 12 Mm.^{2} angewendet werden, seine Zahlen sind bis auf Winkelminuten dieselben. Eine solche Genauigkeit der Bestimmung ist mir vollkommen unbegreiflich. — KRÜKOW hat aber doch WOINOW's Behauptung insoweit modificirt, dass die Farbenempfindung »nur innerhalb gewisser Grenzen« (p. 288) unabhängig sei von der Grösse (und dem Hintergrunde) des Objectes. —

3) dass Pigmente verschiedener Farbentöne unter sonst gleichen Umständen verschiedene Grenzzonen für die Erkennbarkeit der Farbe zeigen; dieser Satz ist von allen späteren Beobachtern bestätigt, aber durch die Untersuchungen von SCHELSKE, LANDOLT, SCHIRMER erweitert und modificirt worden in Bezug auf die Folge verschiedener Farbentöne. Uebereinstimmend mit mir finden diese Forscher, dass Blau auf schwarzem Grunde am weitesten peripherisch erkannt wird, die übrigen Farben stimmen aber nicht:

AUBERT: Blau, Roth, Gelb, Grün.
SCHIRMER: Blau, Gelb, Violett, Purpur, Orange, Roth, Gelbgrün, Blaugrün.
LANDOLT: Blau, Gelb, Orange, Roth, Hellgrün, Dunkelgrün, Violett.

Auch SCHIRMER und LANDOLT differiren also erheblich von einander, namentlich in Bezug auf Violett. — SCHELSKE hat, indem er mit Mischungen von Farben experimentirte, gefunden, dass das Blau der Mischung noch auf Zonen der Netzhaut erkannt wurde, wo das Roth nicht mehr empfunden wurde, und dasselbe

Tabelle XXa.

Farbige Quadrate auf weissem Grunde.

Roth.

Seite des Quadrats =	1 Mm.		2 Mm.		4 Mm.		8 Mm.		16 Mm.		32 Mm.	
Augen:	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.
Innen.	25°	25°	25°	25°	32°	33°	48°	50°	55°	60°	76°	70°
I. U.	15	18	16	18	28	25	38	35	48	40		
U.	14	14	16	18	26	22	36	33	39	39		
U. A.	14	14	16	17	24	24	36	29	40	35		
A.	15	15	19	19	26	26	32	39	36	36	42	43
A. O.	16	14	18	19	22	24	32	36	32	40	40	51
O.	12	15	16	18	22	24	33	35	44	49	50	45
O. I.	17	16	20	19	29	32	45	46	50	56	68	60
Mittel:	16	$16\frac{3}{8}$	$18\frac{2}{8}$	$19\frac{1}{8}$	$26\frac{1}{8}$	26	$37\frac{4}{8}$	$36\frac{5}{8}$	48	$44\frac{3}{8}$	(55)	(54)

Gelb.

Seite des Quadrats =	1 Mm.		2 Mm.		4 Mm.		8 Mm.		16 Mm.		32 Mm.	
Augen:	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.
I.	28°	30°	38°	36°	58°	58°	80°					
I. U.	20	20	34	34	50	45						
U.	18	19	25	20	35	37						
U. A.	20	18	25	25	40	40						
A.	22	20	32	30	50	38	55	50				
A. O.	21	20	30	32	36	42	45	(40)				
O.	18	20	32	32	40	40	48	45				
O. I.	22	24	34	34	45	46	70	60				
Mittel:	$21\frac{1}{8}$	$20\frac{1}{8}$	$31\frac{2}{8}$	$30\frac{3}{8}$	$44\frac{2}{8}$	$43\frac{4}{8}$						

Grün.

Seite des Quadrats =	1 Mm.		2 Mm.		4 Mm.		8 Mm.		16 Mm.		32 Mm.	
Augen:	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.
I.	26°	26°	40°	48°	65°	62°	73°	75°				
I. U.	20	19	35	36	50	50	60	56				
U.	20	17	35	32	35	36	47	45				
U. A.	20	20	32	34	40	44	47	41				
A.	20	19	37	36	(50)	36	50	50				
A. O.	18	24	35	34	35	32	38	42				
O.	17	20	35	32	40	45	40	(40)				
O. I.	20	20	36	42	44	45	48	50				
Mittel:	$20\frac{1}{8}$	$20\frac{5}{8}$	$35\frac{5}{8}$	$36\frac{6}{8}$	$44\frac{7}{8}$	$43\frac{6}{8}$	$50\frac{3}{8}$	$49\frac{7}{8}$				

Blau.

Seite des Quadrats =	1 Mm.		2 Mm.		4 Mm.		8 Mm.		16 Mm.		32 Mm.	
Augen:	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.
I.	15°	15°	26°	26°	52°	50°	64°	66°	74°	75°	78°	77°
I. U.	11	11	22	23	35	30	52	49	54	58	66	58
U.	11	11	19	18	36	30	42	40	54	48		
U. A.	13	14	23	19	30	35	49	44	54	48		
A.	14	14	26	24	36	34	50	50	60	52		
A. O.	12	10	24	23	30	34	43	39	52	52		
O.	12	11	21	21	35	33	40	48	50	58	55	65
O. I.	17	15	25	20	41	46	55	58	60	67	73	73
Mittel:	$13\frac{1}{8}$	$12\frac{5}{8}$	$23\frac{2}{8}$	$21\frac{6}{8}$	$36\frac{7}{8}$	$36\frac{7}{8}$	$49\frac{3}{8}$	$49\frac{2}{8}$	$57\frac{2}{8}$	$57\frac{2}{8}$	(68)	(68)

Tabelle XX b.

Farbige Quadrate auf schwarzem Grunde.

Seite des Quadrats =	1 Mm.		2 Mm.		4 Mm.		8 Mm.		16 Mm.		32 Mm.	
Augen:	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.
Roth.												
Innen.	34°	40°	39°	44°	59°	59°	74°	75°	85°	85°		
I. U.	32	32	31	29	48	39	60	59	67	61		
U.	24	23	28	22	32	30	43	37	45	46		
U. A.	28	25	30	30	31	38	43	42	45	50		
A.	30	30	35	30	36	39	45	45	54	50		
A. O.	30	28	34	30	37	40	42	46	48	46		
O.	29	29	31	27	38	46	42	52	45	50		
O. I.	30	29	38	38	50	53	67	72	80	75		
Mittel:	$29^{5}/_{8}$	$29^{4}/_{8}$	$33^{2}/_{8}$	$31^{2}/_{8}$	$41^{3}/_{8}$	43	52	$53^{4}/_{8}$	$58^{5}/_{8}$	$57^{7}/_{8}$		
Gelb.												
I.	36°	(45)°	40°	42°	52°	50°	61°	66°	75°	80°	85°	90°
I. U.	25	31	28	32	38	44	49	44	55	62	80	75
U.	24	28	28	26	29	36	43	49	50	49	52	50
U. A.	28	25	30	28	36	36	36	40	47	45	50	50
A.	30	30	34	35	38	37	38	40	50	42	56	52
A. O.	28	28	30	30	35	35	45	45	50	50	55	(48)
O.	26	30	28	26	35	43	42	49	46	55	52	55
O. I.	30	35	36	38	46	49	59	(48)	70	61	85	90
Mittel:	$28^{3}/_{8}$	$31^{5}/_{8}$	$31^{6}/_{8}$	$32^{1}/_{8}$	$38^{5}/_{8}$	$41^{2}/_{8}$	$46^{5}/_{8}$	$47^{5}/_{8}$	$55^{3}/_{8}$	$55^{4}/_{8}$	$64^{3}/_{8}$	$(63^{6}/_{8})$
Grün.												
I.	30°	34°	38°	36°	50°	45°	72°	66°	85°	80°	90°	
I. U.	25	22	23	25	30	33	50	(37)	64	61	70	
U.	24	20	24	22	28	28	38	35	55	50		
U. A.	24	24	26	23	31	31	40	38	58	50		
A.	28	25	28	(24)	36	35	46	36	58	54	60	
A. O.	22	20	27	24	28	28	40	36	57	48		
O.	20	20	29	27	35	40	44	46	50	50	60	64
O. I.	25	25	36	33	44	46	52	53	72	68	90	80
Mittel:	$24^{6}/_{8}$	$23^{6}/_{8}$	$28^{7}/_{8}$	$(26^{6}/_{8})$	$35^{2}/_{8}$	$35^{6}/_{8}$	$47^{6}/_{8}$	$(43^{3}/_{8})$	$62^{3}/_{8}$	$57^{5}/_{8}$		
Blau.												
I.	50°	50°	58°	64°	70°	68°	85°					
I. U.	32	36	45	51	54	52	55	62				
U.	26	30	40	44	49	45		52				
U. A.	32	35	45	47	48	50	55	55				
A.	40	40	45	48	50	54	60	60				
A. O.	30	35	45	40	(45)	48	52	52				
O.	31	34	48	48	49	56	59	60				
O. I.	43	44	56	56	68	65	74	70				
Mittel:	$35^{4}/_{8}$	38	$47^{6}/_{8}$	$49^{6}/_{8}$	$54^{1}/_{8}$	$54^{1}/_{8}$	$62^{6}/_{7}$	$58^{6}/_{7}$				

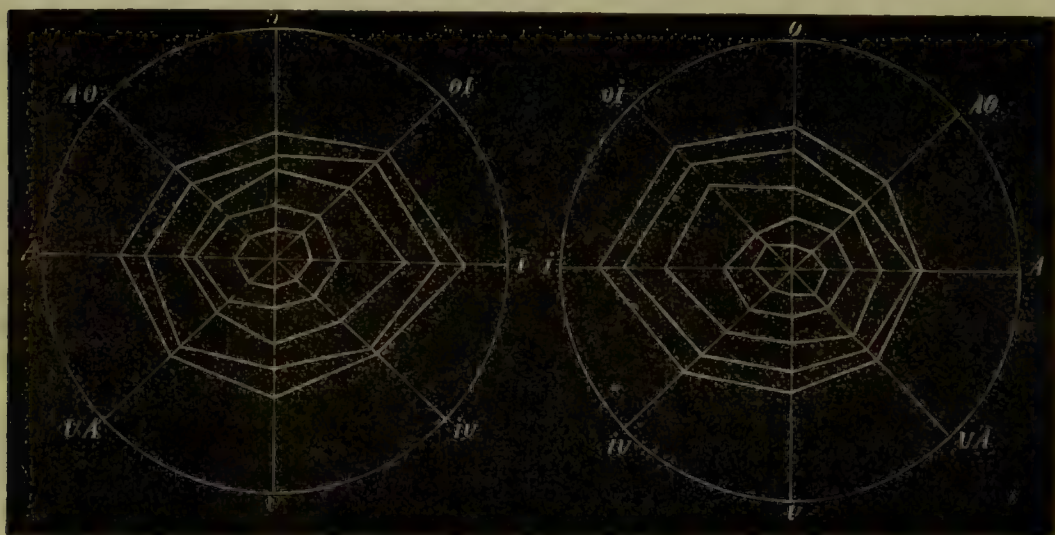
haben Helmholtz (Physiol. Optik p. 301) für Rosa, Schirmer für Violett und Purpur gefunden. Indess findet Schirmer für Blaugrün, dass ihm noch die Empfindung des Gelb bleibt in Zonen, wo von Grün nichts mehr wahrgenommen werden kann. Raehlmann (Archiv für Ophthalm. 1874, XX. 1, p. 17, Figur 2), welcher gleichfalls Spectralfarben beobachtete, findet für die Grenzzonen von der Peripherie nach dem Centrum die Farbenfolge:

Blau, Gelb, Violett, Grün, Roth

und erklärt die Verschiedenheit der Grenzzonen für die verschiedenen Principalfarben aus den Helligkeitsverhältnissen derselben. (Schelske, der mit spectralem Violett experimentirte, hat durch seine Beobachtungen einen Beitrag für die oben § 37 angegebene Auffassung Hering's geliefert, dass im Violett zugleich Roth und Blau empfunden werden.)

4) Nach Purkinje's beiläufigen Bemerkungen habe ich festgestellt, womit sämmtliche spätern Beobachter übereinstimmen, dass in den verschiedenen Meridianen der Netzhaut die Grenzzonen für die Farben sehr verschieden weit von dem Fixationspunkte liegen, wie die beistehende für Blau auf weissem Grunde

Fig. 67.



nach Tabelle XX[a] entworfene Zeichnung Figur 67 zeigt, welche für die Quadrate von 1 Mm., 2 Mm., 4 Mm., 8 Mm., 16 Mm. die Zonen darstellt, in welchen die Farbenempfindung aufhörte.

5) Schon Purkinje hat verschiedene Uebergänge durch Farbentöne und Farbennüancen beobachtet, ehe Farblosigkeit eintritt, und zwar geht nach

Purkinje: Zinnober durch Orange und Blassfahlgelb,
Purpur durch Violett und Blau,
Violett durch verschiedene Töne bis Blau,
Grün durch Gelbgrün und Gelb.

Auf schwarzem Grunde nach

Aubert: Roth durch Rothgelb und Gelbgrau zu Grau,
Blau durch immer weisslichere Nüancen zu Grau,
Grün durch Graugelb zu Grau,
Gelb durch Graugelb zu Grau.

Schelske: Spectrales Gelb durch Lauchgrün,
Grün durch Grauweiss mit einem Stich ins Bläuliche,
Blau durch grünlich zu weiss,
Violett durch Dunkelblau.

Woinow auf weissem Grunde:
Roth durch gelblich, gelbliches Blau zu Schwarz,
Orange durch gelblich, gelblich-grau,
Gelb wird mehr weisslich,
Grün wird gelblich, schmutzig gelblich,
Blau wird heller,
Violett in Blau, zuerst gesättigt, dann heller,
Purpur in schwaches Violett, gesättigt Blau, helles Blau.

Aehnlich sind die Veränderungen, welche Schirmer angiebt, ausserdem geht bei ihm Blaugrün durch Gelb. — Raehlmann (Archiv f. Ophthalm. XX. 1, p. 17) findet an Spectralfarben im dunklen Zimmer folgende Uebergänge:

Roth durch Orange, Schwefelgelb zu Weiss,
Violett durch Blau in Blauweiss,
Grün durch Goldgelb, Hellgelb in Weiss,
Gelb und Blau werden nur heller.

6) Donders und Landolt (Klinische Monatsblätter 1873, p. 356 und III. 1, p. 70 dieses Handbuchs) haben nachgewiesen, dass die Farbenempfindung auf den peripherischen Netzhautzonen eine dem Centrum gleiche bleibt, wenn die Intensität der Beleuchtung gesteigert wird: also auch beim indirecten Sehen sind Gesichtswinkel und Helligkeit massgebend für die Farbenperception. Nagel (Jahresbericht für Ophthalmologie 1872, III. p. 118) bestätigt Landolt's Angabe.*)

7) Endlich habe ich noch zu bemerken, dass die peripherischen Theile der Netzhaut für die Farbenempfindung viel schneller ermüden, als die centralen, man also nur sehr kurze Zeit die farbigen Objecte farbig sieht oder sie wieder farbig sieht, nachdem sie schon farblos geworden waren, wenn man die Objecte oder das Auge ein klein wenig bewegt, so dass die Bilder auf unermüdete Netzhautstellen fallen. — Auch hierin liegt wohl ein Grund für die numerischen Differenzen verschiedener Beobachter.

Auf Grund aller dieser Ergebnisse glaube ich den früher ausgesprochenen Satz, *dass in der Farbenempfindung nur ein gradueller Unterschied zwischen den centralen und peripherischen Netzhautregionen stattfindet*, aufrecht erhalten zu müssen. Schelske glaubte aus der Veränderung, welche die Farbenempfindung bei ein und demselben Objecte und bei gleichbleibender Helligkeit erleidet, wenn sie auf mehr peripherischen Netzhautstellen stattfindet, schliessen zu können, dass die mehr peripherischen Zonen »rothblind« seien. Er stützt sich dabei theils auf die Veränderung, welche

*) Herr Dr. Landolt theilt mir darüber noch mit: »Hatten die Spectralfarben nicht das Maximum der Intensität, so wurden sie nur als Licht, und erst dem Centrum näher als Farben erkannt, und zwar in der Reihenfolge Blau — Roth — Grün — Violett. Gelb wird als gelber Schein schon sehr früh, beinahe gleich beim Erscheinen als solches angegeben. — Die Versuche wurden vorgenommen im möglichst verdunkelten Zimmer, nach über 20 Minuten dauernder Adaptation. Zwischen den Einstellungen der Farben wurden die Augen verbunden.

Violett und Rosa erleiden, theils auf das Erscheinen gemischter Farben, von denen das in die Mischung eintretende Roth nicht empfunden wurde. Die äussersten Zonen sind aber nicht blos rothblind, sondern auch grünblind und gelbblind, wie aus den Tabellen und z. B. auch aus LANDOLT's Zeichnung Schema I, Tav. VII[a] der Annali d'Ottalmologia 1871 hervorgeht. Die grossen Divergenzen der einzelnen Beobachter lassen einen Befund, wie ihn SCHELSKE gehabt hat, kaum als allgemein gültig erscheinen. Wir haben aber gesehen in § 40 und § 41, dass ganz ähnliche Veränderungen beim directen Sehen in der Farbenempfindung auftreten, wenn die Beleuchtung und der Gesichtswinkel vermindert werden. REICH (Klinische Monatsblätter 1874, p. 247) hat nun noch gefunden, dass mit Steigerung des intraocularen Druckes gleichfalls die Farbenempfindung für das directe Sehen pervertirt und endlich ganz ausgelöscht wird, und zwar auch durch allmälige Uebergänge; nach REICH geht die Empfindung des

Roth durch orange, gelb, grauweiss,
Grün durch grünlich gelb, gelb, grauweiss,
Blau durch schwach violett, grauweiss

in Finsterniss über. REICH schliesst daraus, dass mit Steigerung des intraocularen Druckes die centralen Theile den peripheren Theilen der Netzhaut analog werden.

Ich habe die Ergebnisse dieses Capitels etwas eingehender behandelt, weil diese Art der Untersuchung des Farbensinnes eine praktische und prognostische Wichtigkeit erlangt hat und der Augenarzt von vornherein bei der Untersuchung darauf gefasst sein muss, mancherlei Divergenzen, deren Ursache bisher nicht aufgeklärt ist, welche aber noch in der Breite der Gesundheit liegen, bei Patienten zu finden.

§ 43. Farbencontrast und Farbeninduction. — In ähnlicher Weise, wie die Empfindung von Weiss, Grau und Schwarz beeinflusst wird, wenn gleichzeitig eine differente Helligkeitsempfindung auf einer andern Stelle der Netzhaut stattfindet (§ 28), sehen wir auch, dass die Farbenempfindung verändert wird, wenn eine Stelle oder ein grösserer Theil der Netzhaut durch eine Farbenempfindung afficirt wird — ja man kann, wie HERING sagt, die durch Schwarz und Weiss erzeugten Empfindungen häufig direct ins Farbige übersetzen. Wer nicht geübt ist, kleine Helligkeitsdifferenzen zu unterscheiden, dem wird es meistens leichter werden, die Erscheinungen des Contrastes an Farben zu bemerken.

Als Contrastfarbe können wir allgemein die complementäre oder Ergänzungsfarbe (antagonistische Farbenempfindung [HERING]) bezeichnen. Denn BRÜCKE hat in einer höchst genauen und umsichtigen Arbeit, auf die wir indess hier nicht näher eingehen können (Wiener Akad.-Berichte 1865, Bd. 51, Ueber Ergänzungs- und Contrastfarben), nachgewiesen, dass »wahrscheinlich die bis jetzt bemerkten Unterschiede zwischen Contrast- und Ergänzungsfarben, so weit sie nicht auf blossen Beobachtungsfehlern beruhen, sich darauf zurückführen lassen, dass die verglichenen Farben verschiedenen Gliedern einer und derselben Reihe entsprechen,« d. h. dass die verglichenen Farben verschiedenen Farbennüancen entsprechen. Anderseits findet BRÜCKE, dass jede Farbe nicht eine Ergänzungsfarbe, sondern eine Reihe von Ergänzungsfarben hat, welche sich von einander durch ihren Gehalt an Weiss unterscheiden, und dass man sich diese

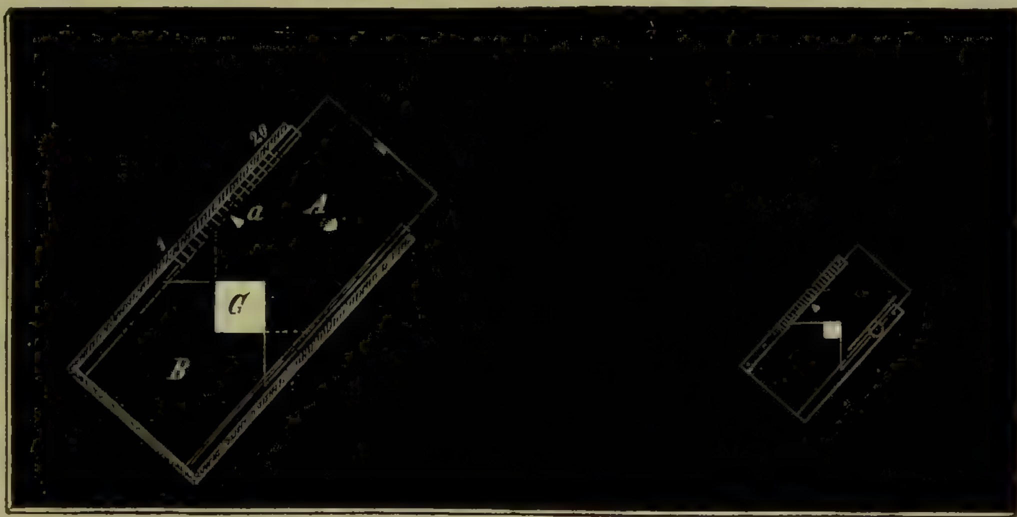
Reihe durch successives Hinzufügen von Weiss aus derjenigen monochromatischen Farbe entstanden denken kann, welche das einfachste Complement der Grundfarbe bildet.

Ungefähr werden wir also die Contrastfarbe finden, wenn wir in dem Newton'schen Farbencirkel (s. Figur 64 in § 35) von einem Farbentone aus eine gerade Linie durch Weiss (im Mittelpunkte) bis zur entgegengesetzten Stelle des Kreises ziehen — die Contrastfarbe liegt also auf der Peripherie des Kreises um 180° von der primären Farbe entfernt.

Die Hauptmethoden zur Erzeugung von Contrastfarben sind etwa folgende: 1) die Erzeugung farbiger Schatten; sie entstehen, wenn eine farbige und eine farblose Lichtquelle auf eine farblose Fläche Schatten werfen. Die Schatten, welche von Tageslicht und Kerzenlicht auf weisses Papier von einem Stabe, etwa einem Bleistift, geworfen werden, sind blau und gelbroth; die gelbrothe Farbe des Schattens rührt davon her, dass der von dem weissen Tageslichte geworfene Schatten von dem gelbrothen Kerzenlichte beleuchtet wird — das Blau des von dem Kerzenlichte geworfenen Schattens dagegen ist subjective Contrastfarbe.

Um für die verschiedenen Farben die Contrastfärbungen des Schattens nachzuweisen, wendet man zweckmässig zwei Oeffnungen in dem Laden eines finstern Zimmers, wie in Figur 68, an, vor deren eine man ein farbiges Glas schiebt: immer erscheint dann der von dieser letzteren Farbe geworfene Schatten in der complementären Farbe des Glases, obgleich

Fig. 68.



er nur von weissem Lichte beleuchtet wird — ja er erscheint sogar auch dann noch complementär gefärbt, wenn die farblose Lichtquelle mit einem gleichfarbigen Glase, welches aber mehr weisses Licht durchlässt, als das andere, bedeckt wird.

Die farbigen Schatten scheint zuerst Leonardo da Vinci vor 1519 (Mahlerey 1786, p. 67) und demnächst Otto von Guericke (Experimenta nova Magdeburgica 1672, p. 142) erwähnt zu haben. Ihre Bedeutung als subjective Contrasterscheinung wurde aber hauptsächlich von Fechner (Poggendorff's Annalen 1838, Bd. 44, p. 221 und Berichte der Leipziger Gesellschaft der Wissenschaften 1860, p. 146) nachgewiesen und namentlich gegen Osann (Poggendorff's Annalen 1833, Bd. 27, p. 694 und Würzburger Wissenschaftliche Zeitschrift 1860, Bd. I, p. 61), welcher die objective Natur der farbigen Schatten behauptete, aufrecht erhalten.

2) Wird ein weisses, graues oder schwarzes Papierstückchen auf eine grosse

farbige Fläche gelegt, so erscheint das Papierstückchen sofort mit der complementären Farbe tingirt; ebenso, wenn man ein farbiges Glas mit dünnem Papier bedeckt, vor eine Lampe hält und eine Stelle des Papiers und Glases mit einem Papierschnitzel bedeckt (J. Müller, Handbuch der Physiologie 1837, Bd. II, p. 372). Entsprechende Veränderungen erleiden farbige Papierstückchen in ihrem Farbentone. (Rollett, Wiener Akademie-Berichte 1867, Bd. 55, Februarheft.)

Diese Contrasterscheinungen sind, nachdem schon Leonardo da Vinci (l. c. p. 121) darauf aufmerksam geworden war, von Prieur de la Côte d'Or (Annales de Chimie T. 54, année 13 der Revolution, also 1805, p. 1) behandelt worden. Chevreul, von dem die Benennung *contraste simultané*, im Gegensatz zu *contraste succedane* (complementäres Nachbild) herrührt, hat sie seit 1828 (Mémoires de l'Institut 1832, T. XI, p. 447 und Farbenharmonie, Stuttgart 1840, genauer verfolgt und namentlich gefunden, dass die Contrastwirkung sich nicht blos in unmittelbarer Nähe der farbigen Objecte geltend macht, sondern weithin erstreckt.

Dass es sich hier nicht etwa um complementäre Nachbilder handelt, geht am evidentesten daraus hervor, 1) dass die Contrastfärbung auch bei der momentanen Beleuchtung mittelst des elektrischen Funkens auftritt. (Aubert in Moleschott's Untersuchungen 1858, Bd. V, p. 290 und Physiologie der Netzhaut p. 383.) Rollett sah gleichfalls die Contrastfarben an einer tachistoscopischen Vorrichtung (Wiener Akademie-Berichte 1867, Bd. 55, Maiheft). Auch im Nachbilde bei geschlossenen Augen tritt die Contrastfärbung sehr deutlich auf; — 2) dass die Contrastfarbe besonders deutlich auftritt, wenn die erregende Farbe sehr wenig lebhaft, sehr stark mit Grau gemischt ist: bei den Versuchen mit den Maxwell'schen Scheiben ist es mir sehr auffallend gewesen, dass wenn die Farbengleichung noch nicht ganz stimmte, also z. B. in dem äusseren aus Pigmenten gebildeten Kranze noch ein wenig zu viel Blau war, dann der innere aus einem Weiss und Schwarz gebildete Kranz sehr stark gelb tingirt, sogar deutlicher gelb, als der äussere blau erschien. — Ganz analog sind die Versuche von Hermann Meyer in Leipzig (Poggendorff's Annalen 1855, Bd. 95, p. 170): legt man auf ein farbiges Papier ein weisses oder noch besser graues Stückchen Papier und deckt ein durchscheinendes Papier oder eine mattgeschliffene weisse Glasplatte darüber, so erscheint das Grau in der Contrastfarbe. Dasselbe ist der Fall, wenn man ein farbiges Papierstückchen auf ein graues Papier legt und eine matte Glastafel darüber deckt. — Man darf indess, wie Rollett hervorhebt, daraus nicht schliessen, dass weissliche Farben sich besser zur Erzeugung von Contrasterscheinungen eignen, als gesättigte Farben. Mittelst eines Apparates (l. c. p. 2), welcher der Hauptsache nach aus farbigen Glasplatten, in welche ein rundes Loch von 27 Mm. Durchmesser eingeschliffen ist und in welches weisse oder graue Gläser (Smoke- oder Rauchgläser) eingesetzt werden, deren Mittelpunkt man scharf fixirt, hat Rollett gefunden, dass gesättigte Farben eine lebhafte Contrastempfindung hervorrufen, dass aber allerdings eine Reihe von mittleren Helligkeiten des Contrastfeldes dem chromatischen Effect des Contrastes am günstigsten ist, und dass, wenn der farblose Reiz ein bestimmtes Maximum der Helligkeit überschritten hat, die Deutlichkeit der Contrastfarbe wieder abnimmt.

3) Ferner lassen sich die Contrasterscheinungen beobachten an den sogenannten Spiegelversuchen, welche zuerst von Osann (Poggendorff's Annalen 1833, Bd. 27, p. 694) angegeben, von Dove (ibid. 1838, Bd. 45, p. 158) modificirt und endlich von Ragona Scina (Raccolta fisico-chemica del Zantedeschi 1847, II. p. 207, s. Brücke in Poggendorff's Ann. 1851, Bd. 84, p. 410) in eine sehr bequeme Form gebracht worden sind.

Man stellt ein weisses Papierblatt mit einem schwarzen Flecke senkrecht auf, legt an dessen unteren Rand ein eben solches Blatt mit einem schwarzen Flecke wagerecht, hält in den rechten Winkel der beiden Papierblätter ein farbiges Glas um etwa 45° geneigt und blickt durch das gefärbte Glas auf das wagerecht liegende Papierblatt: das senkrechte Blatt spiegelt sich an der Oberfläche des farbigen Glases und dieses nahezu farblose Spiegelbild wird so auf

das wagerechte Blatt projicirt, dass die Bilder der schwarzen Flecke neben einander liegen. In das Auge des Beobachters gelangt also theils reflectirtes farbloses Licht, theils durchgelassenes farbiges Licht, und zwar enthält das Bild des Fleckes an dem senkrechten Blatte nur das von dem weissen wagerechten Papier durch das farbige Glas gehende farbige Licht, das Bild des schwarzen Fleckes auf dem wagerechten Papier nur das gespiegelte farblose Licht des senkrechten Papierblattes: dieser erscheint aber nicht farblos, sondern complementär gefärbt. Ist das Glas roth, so erscheint der gespiegelte Fleck auch roth, der durch das Glas gesehene Fleck aber blaugrün: das Blaugrün ist subjective Contrastempfindung.

4) Hierher gehört endlich ein Versuch zur Erzeugung einer binocularen Contrastempfindung, der seitliche Fensterversuch von Fechner (Abhandlungen der Leipziger Gesellschaft der Wissenschaften 1860, Bd. VIII, p. 511) benannt.

Smith zu Fochabers (Brewster in Poggendorff's Annalen 1833, Bd. 27, p. 493) hat folgenden Versuch angegeben, welchen Brücke (ebenda 1851, Bd. 84, p. 418) als zu den Contrasterscheinungen gehörig aufgefasst und erklärt hat: Lässt man von der Seite her Tageslicht oder Lampenlicht auf das Auge, aber nicht durch die Cornea scheinen und betrachtet ein weisses Quadrat auf schwarzem Papier so, dass man dasselbe in Doppelbildern erblickt, so erscheint das mit dem beleuchteten Auge gesehene Bild blaugrün, das mit dem durch die Nase beschatteten Auge gesehene dagegen roth. Für schwarze Objecte auf hellem Grunde erscheinen die Färbungen umgekehrt. Nach Brücke's Erklärung rührt die Farbe des mit dem beleuchteten Auge gesehenen Objectes von dem durch die Sclerotica hindurchdringenden Lichte her, welches im Auge zerstreut wird und roth ist; da dieses Licht aber dauernd im Auge verbreitet ist, so macht es nach Brücke die Netzhaut relativ unempfindlich gegen das Roth des durch die Pupille einfallenden weissen Lichtes, welches daher den Eindruck von Grün macht; fällt dagegen von einem schwarzen Object nur wenig Licht durch die Pupille auf die Netzhaut, so erscheint das ursprüngliche rothe Licht. Im Gegensatz zu diesem Grün erscheint das Weiss in dem unbestrahlten Auge roth, und umgekehrt das Schwarz in dem unbestrahlten Auge grün. Je länger ich das Licht in der beschriebenen Weise mein Auge bestrahlen lasse, um so intensiver tritt die Färbung der Objecte hervor: ich habe das Grün von der Intensität eines Chrysopras gesehen, nur ein wenig bläulicher. — Für Brücke's Erklärung spricht auch folgende, von mir gemachte Beobachtung: halte ich ein sehr dunkles blaues Glas vor das eine Auge, während das andere frei ist, so erscheint ein weisses Object vollständig weiss: schliesse ich nun das mit dem blauen Glase bewaffnete Auge, so erscheint sofort dem freien Auge das Object gelblich; das Glas muss aber so dunkel sein, dass von Wettstreitsphänomenen nichts bemerkt wird.

Die der Contrastempfindung verwandte Farbeninduction, von Brücke entdeckt und so benannt, besteht darin, dass wenn ein Theil des Gesichtsfeldes eine Farbenempfindung, der andere eine farblose Empfindung hat, dieser letztere Theil sich mit der gleichen Farbe, welche das farbige Gesichtsfeld hat, überzieht. Letztere ist die inducirte, erstere die inducirende Farbe von Brücke genannt worden.

Brücke (Poggendorff's Annalen 1851, Bd. 84, p. 424) fand, dass eine schwarze Scheibe, welche vor einem grösseren Ausschnitt im Fensterladen eines fast ganz finstern Zimmers, der mit einem grünen oder violetten Glase bedeckt war, gehalten wurde, mit Grün oder Violett überzogen erschien. Roth erzeugte bei Brücke nur Contrastempfindung unter gleichen Umständen, Blau und Gelb gaben unsichere Resultate. Helmholtz (Physiologische Optik p. 396) und ich (Physiologie der Netzhaut p. 386) haben dagegen bei allen Farben der Gläser die Farbeninduction nach kurzem Fixiren auftreten sehen. Bei mir erscheint die Scheibe im

ersten Momente farblos, überzieht sich bald mit der Farbe des Glases, diese Färbung wird namentlich in der Mitte der Scheibe immer intensiver, so dass die Scheibe fast durchscheinend aussieht. Dieser Verlauf der Inductionsempfindung schliesst die Annahme aus, dass die Induction etwa auf einer Zerstreuung des farbigen Lichtes im Auge beruhte; ebensowenig sind dabei Nachbilder im Spiele: bei unruhiger Haltung des Auges erscheint der verschobene Theil der Scheibe in complementärer Farbe. — Ich habe ausserdem Inductionserscheinungen in sehr auffallender Weise bemerkt, wenn ich im indirecten Sehen ein blaues Quadrat auf schwarzem Grunde beobachtete: der Grund überzog sich hin und wieder auf kurze Zeit mit dem gleichfarbigen Blau des Quadrates.

Bei der offenbaren Verwandtschaft der Inductionsempfindungen mit den Contrastempfindungen scheinen mir die Inductionsempfindungen gegen die Erklärung des Contrastes als einer Urtheilstäuschung zu sprechen, und als eine Stütze für die Ansicht Hering's zu dienen, dass wir es hier mit rein physiologischen Empfindungsvorgängen zu thun haben. Mir ist wenigstens kein Grund erfindlich, warum wir ein schwarz empfundenes Object das eine Mal als rothgelb, das andere Mal als blau beurtheilen sollten (cf. § 28). Alle diese Erfahrungen bestätigen vielmehr Fechner's Ausspruch (Poggendorff's Annalen Bd. 50, p. 443): »Der Eindruck, den eine Stelle der Retina empfängt, reagirt auf die anderen Stellen der Netzhaut mit, und zwar wird, wenn auch nur ein sehr begrenzter Theil der Netzhaut getroffen wird, der ganze übrige Theil der Netzhaut in Mitleidenschaft gezogen.«

§ 44. Binoculare Farbenempfindung. Wettstreit der Gesichtsfelder. Glanz. — Wir haben schon im vorigen Paragraph unter 4) den seitlichen Fensterversuch als binocularen Contrastversuch erwähnt: wenn man in diesem Versuche zugleich mit beiden Augen auf ein helles Object sieht, so bemerkt man nichts von einer Färbung, wenn auch das eine Auge für sich das Object röthlich, das andere grünlich sieht. Eine grosse Anzahl von Physiologen, zu denen auch ich gehöre, finden dem entsprechend, dass wenn vor das eine Auge ein nicht sehr intensiv gefärbtes und nicht sehr dunkles Glas gehalten wird, während das andere frei ist, ein Object, z. B. ein weisses Quadrat auf schwarzem Grunde gleichmässig farbig tingirt erscheint. Ich habe gefunden, dass sich, wenigstens für mein Auge, eine ziemlich bestimmte Grenze finden lässt, wo eine Combination der Empfindungen beider Augen eintritt und zwar 1) abhängig von der Helligkeit des beobachteten Objectes, 2) von der Durchlässigkeit der Gläser für Licht, 3) von der Farbe der Gläser.

Wenn ich einen Bogen weisses Papier im Zimmer in der Entfernung von etwa 2 Meter betrachte, indem ich vor das eine Auge ein farbiges Glas halte, so findet noch eine gleichmässige Färbung des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes statt, wenn die Gläser mehr als 0,2 Licht durchlassen — betrachte ich hellbeleuchtete, weisse Wolken am blauen Himmel, so tritt noch eine gleichmässige Färbung ein, wenn die Gläser mehr als 0,1 Licht durchlassen. Bei dem weissen Papier treten aber ungleichmässige und wechselnde Färbungen (Wettstreit der Gesichtsfelder) auf, wenn die Gläser weniger Licht durchlassen.

Die Menge des Lichtes, welches farbige Gläser durchlassen, ist ebenso wie bei dem paradoxen Versuche Fechner's (cf. § 29) massgebend für die Combina-

tionsfähigkeit der binocularen Empfindungen. Dies findet auch Panum (Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858, p. 49). Bei mir bringt ein rothes Glas, welches von 1000 Theilen 180 Theile Licht durchlässt, ein gelbes Glas, welches 550, ein grünes, welches 200, ein blaues, welches 220, ein violettes, welches 400 Theile Licht durchlässt, wenn ich es vor das eine Auge halte, während das andere frei ist, immer eine Gesammtfärbung des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes hervor, mag ich auf einen gut beleuchteten Bogen weisses Papier oder auf eine weisse Wolke sehen. Ich bemerke dazu, dass man das Object nicht gar zu gross wählen darf, nämlich kleiner, als der Raum des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes ist (s. § 56). Dieses Moment für die Combination der binoculären Farbenverschmelzung hat schon Alexander Prevost (Essai sur la théorie de la vision binoculaire Génève 1843, p. 35) hervorgehoben. Das Nähere siehe bei Aubert, Physiologie der Netzhaut p. 293—298.

Man kann annähernd die Durchlässigkeit verschiedener farbiger Gläser für Licht nach Dove's Methode (Poggendorff's Annalen 1861, Bd. 114, 149) bestimmen: man legt eine kleine Photographie auf Glas mit undurchsichtigen Buchstaben und durchsichtigem Grunde auf den Tisch eines Mikroscops und giebt dem Spiegel eine solche Stellung, dass die Buchstaben schwarz auf hellem Grunde erscheinen; schiebt man nun über den Spiegel des Mikroscops ein oder mehrere farbige Gläser, so erscheint der Grund gefärbt in der Farbe des Glases, die Buchstaben in der Complementärfarbe und zwar entweder dunkler oder heller als der Grund, da sie ja auch von oben durch diffuses Tageslicht beleuchtet werden. Wenn man nun den Punkt trifft, wo die Photographie von unten eben so stark beleuchtet wird, als von oben, so ist von den Buchstaben nichts zu sehen. Diesen Punkt findet man für ein bestimmtes Glas leicht, wenn man dem Spiegel des Mikroscops verschiedene Stellungen giebt. Man kann nun bei unveränderter Stellung des Spiegels graue Gläser, deren Durchgängigkeit für Licht man mit dem Episkotister (cf. § 29) bestimmt hat, über den Spiegel schieben bis zu gleicher Verdunkelung, dass die Buchstaben verschwinden und daraus die Absorption der farbigen Gläser für Licht bestimmen. Sehr genau ist die Bestimmung allerdings nicht. Eine andere Methode hat Hankel angewendet (s. Fechner, Leipziger Abhandlungen 1860, Bd. VIII, p. 355).

Eine wesentliche Bedingung für eine gleichmässige Empfindung der Farbe im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde ist ferner, dass man fest und sicher fixirt, was auch Donders als wesentlich bezeichnet (Archiv f. Ophthalm. XIII. 1, p. 9 Anm.) — und ich möchte fast glauben, dass mancher Beobachter verhindert ist, die Empfindungen der beiden Netzhäute zu verschmelzen wegen zu dunkler Gläser und unruhiger Haltung der Augen. — Donders giebt l. c. ferner an, dass man Mischfarben um so leichter erhalte, je kleiner die beobachteten Flächen seien, dass man weiter bei Erleuchtung durch einen einzigen starken Inductionsfunken sofort die Mischfarbe erhalte, ohne jedweden Wettstreit, dieser dagegen entstehe, wenn einzelne Funken ziemlich schnell auf einander folgen.

In neuester Zeit hat Bezold (Poggendorff's Annalen 1874, Jubelband p. 585) das Misslingen der Combination in der verschiedenen Brechbarkeit der Farben und dadurch bedingte verschiedene Accommodationsanstrengung zu finden geglaubt, worin ihm Dobrowolsky (Pflüger's Archiv 1875, Bd. X, p. 56) beistimmt. — Helmholtz dagegen vermuthet (Physiologische Optik p. 777), dass oft der Schein einer Mischfarbe durch Contrasterscheinungen und Nachbilder hervorgerufen werde, ohne dass eine Combination der binocularen Empfindungen stattfinde.

Allerdings finde ich aber, dass wenn ich mit einem farbigen Glase vor dem

einen Auge und freiem andern Auge eine halbe oder ganze Minute oder mehrere Minuten lang auf eine weisse Wolke oder ein anderes helles Object blicke, abwechselnd die Färbung des Objectes bald mehr, bald weniger hervortritt, also Wettstreit der Gesichtsfelder eintritt. Schliesse ich das Auge, vor welchem sich das farbige Glas befindet, einige Sekunden, so tritt beim Wiederöffnen desselben eine sehr starke Färbung des Objectes auf, welche sich um so früher verliert, je dunkler das Glas ist; nach einiger Zeit, namentlich nach einem Lidschlage tritt dann wiederum die stärkere Färbung des binoculär gesehenen Objectes hervor.

Einigen Einfluss hat ferner, wie Joh. Müller (Handbuch der Physiologie 1837, II. p. 388) für wahrscheinlich hielt, und Helmholtz (Physiol. Optik p. 775) betont, die Aufmerksamkeit und der Wille, aber der Wechsel tritt oft auch ganz unwillkürlich und ohne dass man die Aufmerksamkeit dem einen oder anderen Auge zuwendet, ein, und es ist mir meistens ganz unmöglich, bestimmend in den Vorgang einzugreifen. Auch Fechner (Leipziger Abhandlungen 1860, Bd. VIII. p. 481 u. f.) hat auf diese zeitlichen Verschiedenheiten bei monocularer Farbenreizung aufmerksam gemacht und ebendaselbst auch die »Aufmerksamkeitstheorie« ausführlich besprochen.

Bringt man vor beide Augen verschiedenfarbige Gläser, so tritt bei vielen Beobachtern, auch bei mir, die Mischfarbe auf, bei vielen Beobachtern aber nicht. Der erste, welcher eine Vermischung beider Farben beobachtet hat, scheint Janin (Mémoires et observations sur l'oeil 1779, ich citire nach Prévost's Vision binoculaire 1843, p. 34) gewesen zu sein, später hat namentlich Völckers (Müller's Archiv 1838, p. 60) darüber ausgedehnte Versuche angestellt und gefunden, dass bei ruhigem Sehen das Object (der Himmel, eine Lampenglocke, der Mond, ein weisses Papier) in der Mischfarbe erscheint. Ich beschränke mich gegenüber der sehr grossen Zahl von Angaben über binoculäre Farbenmischung auf die Angabe dessen, was ich selbst sehe. 1) Die Mischfarbe erscheint mir im Vergleich zu den Farben der Gläser immer sehr unrein und matt; 2) die Mischfarbe tritt nicht dauernd ganz gleich auf, bald scheint die eine, bald die andere Farbe zu überwiegen, wenn ich die Gläser über eine halbe Minute vor den Augen habe; 3) die Mischfarbe tritt um so deutlicher auf, je weniger die beiden Gläser an Helligkeit und Farbenintensität differiren; 4) helles Blau vor dem einen, Gelb vor dem anderen Auge giebt bei mir grau mit einem Stich ins Grüne — Blau und Roth oder Blau und Violett giebt ein röthliches Grau; Grün und Roth oder Grün und Violett ein Grau mit einem Stich ins Grüne, wenn das grüne, mit einem Stich ins Röthliche, wenn das rothe oder violette Glas heller sind — Blau und Grün geben ein gelbliches Grau, sehr ähnlich wie Gelb und Grün — Roth oder Violett und Gelb geben ein rothgelbes Grau.

Aehnlich verhalten sich Pigmente, bei denen auch schon Völckers Mischfarben erhalten hat, indess tritt hier die eigenthümliche Erscheinung des metallischen Glanzes als Complication hinzu. Werden Objecte mit Contouren beobachtet, so tritt sehr leicht das Phänomen des Wettstreites auf. — Ueber weitere Einzelheiten dieser Erscheinungen s. Aubert, Physiologie der Netzhaut p. 300 und Helmholtz, Physiologische Optik p. 776.

Sehr leicht (und bei längerer Dauer, wie es scheint, immer) tritt bei diesen Versuchen der sogenannte Wettstreit der Gesichtsfelder ein, indem bald die eine, bald die andere Farbe, oder die Farbe und die Farblosigkeit im gemein-

samen Gesichtsfelde hervortreten; namentlich wenn Hell und Dunkel im Objecte sind, man also z. B. durch ein Fensterkreuz nach dem Himmel blickt, so sieht man bald die Ränder neben den dunkeln Rahmen, bald die ganze Scheibe sich stärker mit der einen und dann wieder mit der anderen Farbe überziehen und Differenzen in der Färbung sich überall geltend machen, wo Hell und Dunkel im Objecte an einander grenzen. Besonders günstig für die Erzeugung des Wettstreites finde ich ferner ziemlich dunkle Gläser, welche etwa 0,1 Licht durchlassen, wenn man nur ein Gesichtsfeld färbt, oder Gläser, die ziemlich grosse Helligkeitsdifferenzen bieten, wenn man vor jedes Auge ein Glas bringt. Ausserdem ist es zweckmässig, nicht einen Punkt starr zu fixiren, sondern den Blick allmälig an den Contouren hingleiten zu lassen. — Die Wettstreitsphänomene treten gleichfalls recht lebhaft auf, wenn zwei verschiedene farbige Zeichnungen mittelst Convergenz oder Parallelstellung der Sehaxen oder im Stereoscop vereinigt werden, z. B. ein verticaler rother Streifen auf gelbem Felde für das eine, ein horizontaler rother Streifen auf blauem Felde für das andere Auge geboten und binocular vereinigt werden. (cf. Panum, Das Sehen mit zwei Augen, Fig. 29.)

Sowohl beim Sehen durch gefärbte Gläser, als bei der Vereinigung pigmentirter Figuren tritt unter Umständen die eigenthümliche Erscheinung des metallischen Glanzes auf; in ersterer Form ist namentlich ein Versuch von Dove (Optische Studien 1859, p. 7) frappant: auf einem blauen, nicht glänzenden Papier liegt ein rothes, nicht glänzendes Papierstück von beliebiger Form oder umgekehrt; hält man vor das eine Auge ein nicht zu helles blaues, vor das andere Auge ein ungefähr eben so stark verdunkelndes rothes Glas und blickt auf das rothe und blaue Papier, so erscheint dasselbe etwa wie Seide glänzend. Derselbe Erfolg tritt ein, wie Wundt (Theorie der Sinneswahrnehmung 1862, p. 305, Abdruck aus Zeitschrift f. rationelle Medicin III. Reihe, Bd. 14, — und Poggendorff's Annalen 1864, Bd. 116) erwähnt, wenn man statt der Farben blau und roth die Farben für Papiere und Gläser grün und roth oder orangefarben und violett wählt. Ich (Physiologie der Netzhaut p. 302) habe die Erscheinung des Glanzes in Dove's Versuch daraus erklärt, dass ein rothes Papierstück durch ein blaues Glas gesehen dunkel, blaues Papier aber hell erscheint und umgekehrt ein blaues Papier durch rothes Glas gesehen dunkel, blaues Papier aber hell erscheint — was also dem einen Auge dunkel erscheint, erscheint dem andern hell — der Versuch ist also nur eine Modification der Dove'schen Entdeckung (Berliner Akademie-Berichte 1851, p. 246, — Dove, Farbenlehre 1853, p. 171, — Poggendorff's Annalen 1851, Bd. 83, p. 480), dass die stereoscopische Vereinigung einer schwarzen und weissen Fläche den Eindruck einer glänzenden Graphitfläche macht.

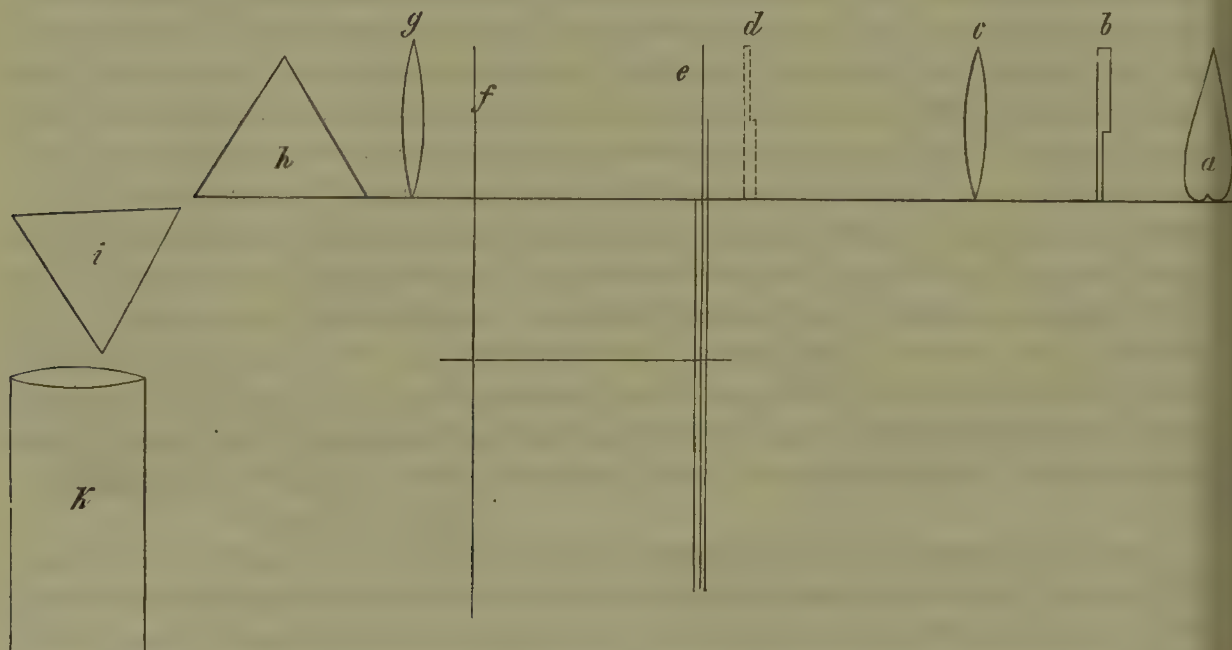
Oppelt (Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main 1853—1854, p. 52), Helmholtz (Verhandlungen des naturhistorischen Vereins der Rheinlande 1856, p. 38), Wundt (Theorie der Sinneswahrnehmung 1862, p. 321) haben angenommen, dass die Empfindung des Glanzes auf Contrast, d. h. grosser Helligkeitsdifferenz der entsprechenden Punkte in den Gesichtsfeldern beruhe und ich (Physiologie der Netzhaut p. 303) habe nachzuweisen gesucht, dass diese Bedingung nicht blos für die Empfindung des binocularen, metallischen Glanzes, sondern für alles, was wir Glanz nennen, erfordert wird. Auch Brücke (Wiener Akademie-Berichte 1861, Bd. 43, p. 17) hat diese Bedingung als für die

Erscheinung des Glanzes nothwendig erklärt. Ich verweise wegen des Näheren auf meine Physiologie der Netzhaut p. 302 und HELMHOLTZ, Physiologische Optik p. 782.

Zeitliche Verhältnisse beim Farbensinne.

§ 45. **Ansteigen und Absteigen der Farbenempfindung während des Reizes.** — In § 30 haben wir besprochen, dass eine messbare Zeit erforderlich ist für einen farblosen Lichtreiz, bis das Maximum der Empfindung ausgelöst wird. Für farbiges Licht hat schon PLATEAU (Poggendorff's Annalen 1830, Bd. 20, p. 307) den Satz ausgesprochen, dass ein Eindruck einer gewissen Zeit zu seiner vollen Bildung bedürfe. Erst KUNKEL (Pflüger's Archiv 1874, Bd. IX. p. 197) hat unter FICK's Leitung über dieses Problem eingehende Untersuchungen angestellt, nach einem ähnlichen Princip wie EXNER für weisses Licht (s. § 30). KUNKEL hat prismatische Farben beobachtet, wobei ihm eine Petroleumflamme als Lichtquelle diente, deren Licht durch zwei über einander befindliche genau stellbare Spalten von verschiedener Weite ging, so dass der obere Spalt weniger, der untere Spalt mehr Licht durchliess. Um in einem bestimmten Momente die beiden Reizungen beginnen zu lassen, und zu bestimmten und messbaren Zeiten wieder abzuschneiden, bedient er sich, ähnlich wie EXNER, einer rotirenden Scheibe mit zwei verschieden stellbaren Sectorausschnitten (s. Figur 56 § 30); die Strahlen fallen parallel auf Prismen und endlich durch ein Fernrohr mit einem spaltförmigen Diaphragma im Oculare, um bestimmte Abschnitte des prismatischen Spectrums isolirt beobachten zu können, in das Auge des Beobachters; Figur 69

Fig. 69.



zeigt die Versuchsanordnung, in welcher *a* die Flamme, *b* den Spalt, von welchem die Linse *c* ein Bild *d* auf der rotirenden Scheibe *e* entwirft; hinter der zweiten rotirenden Scheibe *f* wirft die Linse *g* das Licht parallel auf die Prismen *h* und *i*, und endlich geht das Licht in das Fernrohr *k* mit dem Diaphragma.

KUNKEL geht bei seinen Versuchen von folgender Betrachtung aus: wenn ein

Reiz auf eine Netzhautstelle einwirkt, so vergeht eine gewisse Zeit, bis derselbe das Maximum der Empfindung auslöst: fängt nun der eine (schwächere) von zwei Reizen früher an zu wirken, als der zweite stärkere, und hören sie dann beide gleichzeitig auf zu wirken, so wird bei bestimmten Reiz- und Zeitverhältnissen eine Gleichheit der ausgelösten Empfindungen eintreten können. Das gemessene Verhältniss der Reizgrössen zu den Zeitdauern sagt dann aus, wie viel Zeit der stärkere Reiz weniger braucht, um dieselbe Intensität der Empfindung auszulösen, als der schwächere Reiz zur Auslösung des Maximums der Empfindung bedarf. Denkt man sich die Zeiten auf der Abscisse, die Empfindungsintensitäten als Ordinaten eingetragen, so wird durch den schwächeren Reiz in der Zeit ac eine Empfindung cx, durch den stärkeren Reiz aber in der kürzeren Zeit bc die Empfindung cx ausgelöst werden, und wenn cx dem Maximum der durch den schwächeren Reiz auslösbaren Empfindung entspricht, so wird diese Höhe cx in der kürzeren Zeit von dem stärkeren Reize ausgelöst werden. Man wird aber den Verlauf der Curve für den schwächeren Reiz finden, wenn man in verschiedenen Zeiten nach Beginn derselben ihre Ordinate misst an der Ordinate des kürzere Zeit wirkenden stärkeren Reizes.

Kunkel hat nun zunächst gefunden, dass bei einer gewissen Helligkeit der Lichtquelle für verschiedene Theile des Spectrums zur Hervorbringung des Maximums der Erregung nothwendig sind für Roth 0,0573 Sekunden, für Grün 0,097″, für Blau 0,1018″. Da die verschiedenfarbigen Theile des Spectrums von ungleicher Helligkeit sind, so hat Kunkel unter der Annahme, dass Grün doppelt so hell als Roth, und ungefähr 4 Mal so hell als Blau sei (für das Petroleumspectrum) bei entsprechender Einstellung des Spaltes vor der Petroleumflamme (wobei also die Helligkeiten der 3 Farben gleich sein sollen) gefunden für die Maxima:

Roth 0,0573″, Grün 0,133″, Blau 0,0916″,

d. h. die verschiedenen Theile des Spectrums brauchen verschiedene Zeit, um das Maximum der Empfindung hervorzubringen, und zwar Roth die kürzeste Zeit, dann Blau, und die längste Zeit Grün. (Die in Bezug auf die Farbenfolge gegentheiligen Versuche Lamansky's [Archiv f. Ophthalm. XVII. 1, p. 132] sind als nur beiläufig und mit durch Sonnenlicht beleuchteten Pigmenten angestellt wohl ohne weitere Bedeutung.)

Entsprechend dem Exner'schen Satze, dass die zur Erreichung des Maximums nothwendigen Zeiten in arithmetischer Progression zunehmen, wenn die Helligkeiten in geometrischer Progression abnehmen, findet auch Kunkel, dass die grössere Helligkeit in kürzerer Zeit das Maximum der Erregung hervorbringt, als die geringere:

Farben.	Helligkeitsverhältnisse. 1.	2.	4.
Roth . .	0,071″	0,0573″	—
Grün . .	0,133″	0,097″	0,0699″
Blau . .	—	0,102″	0,0916″.

Ferner hat Kunkel, gestützt auf Exner's Erfahrung, dass nahezu mit dem Beginn der Reizung auch die Erregung beginnt, und unter der vorläufig zulässigen Voraussetzung, dass der erste Theil der Erregbarkeitscurve geradlinig ansteigt, Curven construirt, welche die Form des Anklingens der Erregung für den schwächeren Reiz darstellen.

Von besonderem Interesse ist ferner die Beobachtung, dass sich mit der Zeitdauer der Erregung auch der Farbenton und die Farbennüance ändert. So machte das bei dauernder Erregung grün erscheinende Stück des Spectrums beim Abschneiden der Erregung im Maximumpunkte den Eindruck eines blendenden Gelb; bei noch kürzerer Erregungsdauer erschien das ganze Spectrum aus zwei Theilen bestehend, von denen der eine den Eindruck von Roth, der andere den Eindruck von Blau macht und endlich bei weiterer Verminderung der Zeitdauer und Helligkeit fand KUNKEL einen Punkt, wo mit Ausnahme von Roth zwar noch Lichtempfindung, aber keine Farbenempfindung mehr zu Stande kommt.

Die folgende Tabelle von KUNKEL giebt eine Zusammenstellung für die Spectralfarben; der zweite Stab derselben giebt die Lichtintensitäten nach der Weite des Spaltes vor der Flamme beurtheilt an:

Tabelle XXI.

Farbe.	Spaltweite in Mikromillimeter.	Dauer der Erregung in $\frac{1}{1000}$ Sekunden.	Empfindung.
Roth.	98	0,29	0
	390	0,578	Links dunkel, rechts roth.
Orange und Gelb.	98	1,156	Links roth, rechts gelb.
	390	0,29	ebenso.
Orange bis Grünlichgelb.	98	0,868	Links gelb, rechts blau.
	195	1,736	ebenso.
	390	1,736	Links gelb mit roth, rechts grün.
Grün (links grünlichgelb).	780	0,29	Grün.
	585	0,29	Deutlich grün.
	390	0,29	Blaugrün.
	195	0,29	Blaugrün.
	98	0,29	Deutlich blau.
	98	0,868	Blau.
	98	1,736	Grün.
	49	0,29	Farbloser Lichtschimmer.
	49	1,736	Blaugrün.
	49	4,34	Deutlich blau.
	390	1,736	Grün.
Blau.	390	1,736	Schön blau.
	390	0,868	Blau.
	390	0,29	Farbloser Lichtschimmer.

Diese Angaben von KUNKEL zeigen eine auffallende Aehnlichkeit mit den von mir bei sehr geringer Beleuchtungsintensität an lebhaften Pigmentfarben beobachteten Veränderungen des Farbentones und der Nüance (s. § 40), so wie mit meinen und v. WITTICH's Beobachtungen von Pigmenten unter sehr kleinem Gesichtswinkel (§ 41).

Vielleicht ist die Bemerkung nicht überflüssig, dass meine Beobachtungen über das sehr deutliche Erscheinen von Farben beim Ueberspringen des elektrischen Funkens (Moleschott's Untersuchungen 1858, V. p. 295 u. f.) mit den Beobachtungen KUNKEL's durchaus nicht im Widerspruche stehen, da ja die kurze Dauer des Funkens durch die grosse Intensität desselben offenbar in Bezug auf die Erregung der Empfindung äquilibrirt werden kann.

In Bezug auf Hering's Theorie der Farbenempfindung bestätigen Kunkel's Versuche den Satz, »dass die schwarzweisse Substanz viel reichlicher im Sehorgan enthalten ist, als die rothgrüne und blaugelbe und auch diese beiden unter sich nicht gleich sind,« denn bei sehr kurz dauernder und sehr schwacher Erregung afficirt eine Farbe zwar noch die schwarzweisse, aber nicht mehr die farbigen Substanzen, d. h. bringt noch Lichtempfindung, aber keine Farbenempfindung hervor.

Ueber den Abfall der Empfindungscurve nach Aufhören des Reizes weiss man im Allgemeinen (Fechner), dass während des Anschauens eines farbigen Objectes die Farbe desselben bald an Lebhaftigkeit verliert, sowohl bei heller, als bei matter Beleuchtung, bei grossem wie bei kleinem Gesichtswinkel des Objectes. Ebenso ist es ja auch bei farblosem Lichte (§ 30). Blickt man z. B. auf einen Bogen intensiv rothen Papiers, auf welchem ein Stückchen schwarzer Sammet liegt, einige Sekunden lang im diffusen Tageslichte, so sieht man, dass die Farbe immer matter wird: zieht man plötzlich den Sammet weg, ohne die Augen zu bewegen; so erscheint diese Stelle sehr viel intensiver roth als der übrige Papierbogen. Unter Umständen kann bei längerer Betrachtung die Farbenempfindung ganz aufhören und intensives Roth oder Blau farblos erscheinen. Wenn ich (Plateau, Poggendorff's Annalen 1834, Bd. 32, p. 546) auf eine gut beleuchtete rothe Fläche durch eine 300 Mm. lange und 30 Mm. weite schwarze Röhre sehe und einen Punkt auf dem Roth unverwandt etwa 1 Minute lang fixire, so wird endlich das Roth auf kurze Zeit dunkel und völlig farblos — nur einige helle rothe Kreislinien erscheinen gelegentlich in Folge kleiner Schwankungen der Röhre oder des Auges. Noch rascher verschwindet die Farbe, wenn ich ein rothes Quadrat unter kleinem Gesichtswinkel betrachte, z. B. ein rothes Quadrat von 3 Mm. Seite auf schwarzem oder weissem Grunde aus 400—500 Mm. Entfernung.

Aber auch unter Umständen, in welchen dem ganzen Gesichtsfelde nur eine bestimmte Farbe geboten wird, hört die Empfindung dieser Farbe auf. Maria Bokowa (Zeitschrift für rationelle Medicin III. Reihe 1863, Bd. 17, p. 161) hat gefunden[1], dass nach stundenlangem Tragen einer rothen Brille bei Abhaltung alles Seitenlichtes k e i n R o t h m e h r w a h r g e n o m m e n w e r d e n k a n n. Das rothe Glas darf anderes Licht nicht durchlassen. Auch ich sehe nach halbstündigem Tragen einer solchen Brille nur noch Gelb und an dunkeln Objecten Blau, nach mehrstündigem Tragen der Brille sehe ich mattbeleuchtete Objecte farblos, helle Objecte aber, wie z. B. eine Kerzenflamme, eine von der Sonne beschienene Wand immer noch erst einige Sekunden lang roth. Bei dunkelblauen und dunkelgrünen Gläsern tritt für meine Augen die Farblosigkeit schon früher, etwa nach 10 Minuten ein. Erst neuerlichst sind Bestimmungen über die Ermüdungscurve für Farbenempfindungen von Schön (Archiv f. Ophthalm. 1874, XX. 2, p. 273) angestellt worden. Schön liess mittelst eines dem Kunkel'schen in mancher Beziehung ähnlichen Apparates Farben des Spectrums auf eine Stelle der Netzhaut einige Sekunden (3″—15″) lang einwirken und verglich dann den farbigen Eindruck mit dem Eindruck, welcher auf einer intacten Nachbarstelle der Netzhaut durch eine weniger intensive Farbe desselben Spectralabschnittes hervorgebracht wurde. Er fand, dass beide Eindrücke einander gleich waren, wenn die Intensität der auf die intacte Netzhautstelle wirkenden Farbe $^1/_3$ bis $^1/_2$ von derjenigen Intensität betrug, welche 10″ lang auf die erstere Netzhautstelle eingewirkt hatte.

In 7 Versuchsreihen fand SCHÖN die Intensität für Roth = 0,43, für Grün = 0,39, für Blau = 0,31, und zwar bei verschiedenen absoluten Helligkeiten. Ferner bestimmte SCHÖN die Ermüdungscurve für die drei Farben dahin, dass nach 3″ die Empfindung der ermüdeten Netzhautstelle gleich war einer Empfindung auf der intacten Netzhautstelle von 0,66 für Roth, von 0,59 für Grün, 0,5 für Blau, und dann langsam abnahm:

5″: Roth 0,59, Grün 0,52, Blau 0,37,
10″: Roth 0,59, Grün 0,43, Blau 0,37,
15″: Roth 0,57, Grün 0,37, Blau 0,33.

Die Abnahme der Empfindung verhält sich also ganz ähnlich, wie nach MÜLLER's Bestimmungen beim farblosen Lichte. cf. § 30.

Man pflegt diese Abnahme der Erregbarkeit als »Ermüdung« zu bezeichnen, womit indess nichts weiter als ein bequemer Ausdruck gewonnen ist, da wir keineswegs berechtigt sind, das, was man beim Muskel Ermüdung nennt und was ja auch als Process ganz unbekannt ist, auf Empfindungsnerven zu übertragen.

Umgekehrt können wir nun durch derartige Versuche auch eine Zunahme der Erregbarkeit für die Empfindung der complementären oder antagonistischen Farbe bewirken. HELMHOLTZ (Physiol. Optik p. 369) hat gefunden, dass wenn man auf Blaugrün gesehen hat und dann auf Roth blickt, dieses gesättigter erscheint, als wenn man vorher auf Schwarz geblickt hat. Legt man ein schwarzes und ein blaugrünes Quadrat neben einander auf rothes Papier, so erscheint, wenn man die beiden Quadrate wegnimmt, die Stelle, wo Schwarz gelegen hatte, weisslich roth, die Stelle, wo Blaugrün gelegen hatte, gesättigt roth. HELMHOLTZ hat dasselbe für Spectralfarben gefunden und schliesst daraus, »dass die gesättigtsten objectiven Farben, welche existiren, die reinen Spectralfarben, im unermüdeten Auge nicht die gesättigtste Farbenempfindung hervorrufen, welche überhaupt möglich ist, sondern dass wir dies erst erreichen, wenn wir das Auge gegen die Complementärfarbe unempfindlich machen«.

Im nächsten Paragraph werden wir sehen, dass mit der Ermüdungscurve eine so zu sagen complementäre oder antagonistische Erregungscurve abläuft.

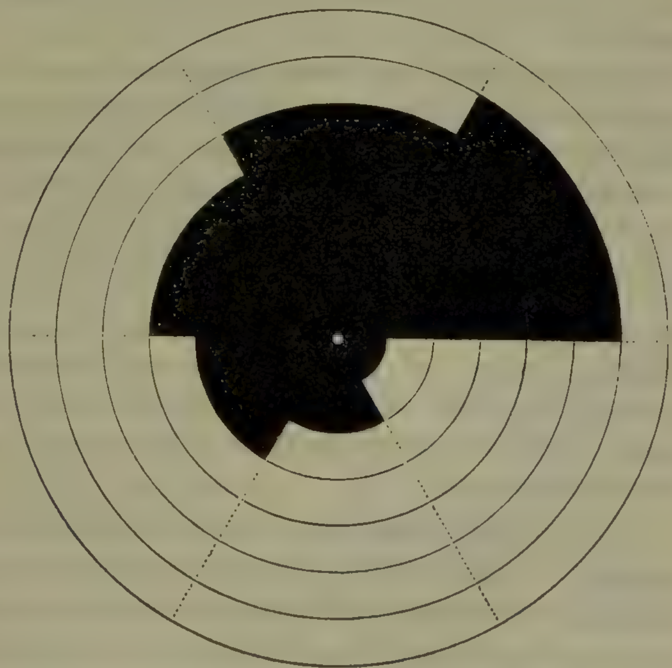
§ 46. Farbige Nachbilder. — Mit dem Aufhören der Reizung durch farbiges Licht hört die Empfindung von Farben nicht auf, sondern überdauert die Reizung; die nach dem Aufhören des Reizes ablaufenden Empfindungen können sehr verschieden sein in Bezug auf Farbenton, Farbennüance, Helligkeit, Abwandelungen und Dauer. Man bezeichnet diese Empfindungen jetzt allgemein als Nachbilder und unterscheidet auch hier positive und negative Nachbilder in Bezug auf die Helligkeitsverhältnisse des primären Eindrucks und des Nachbildes — ferner gleichfarbige und complementäre Nachbilder in Bezug auf den Farbenton — endlich farbig abklingende Nachbilder, wenn ein Wechsel in der Färbung des Nachbildes auftritt. Das während der Dauer des farbigen Nachbildes einwirkende äussere Licht bezeichnen wir auch hier nach HELMHOLTZ als reagirendes Licht oder reagirende Farbe. Wir haben endlich noch zu unterscheiden Nachbilder, welche in dem centralen Theile der Netzhaut, und solche, welche auf den peripherischen Theilen der Netzhaut entstehen — wo nichts besonderes bemerkt wird, meint man immer die ersteren.

Farbige Nachbilder entstehen sowohl, wenn farbloses, als wenn farbiges Licht die Sehsubstanz erregt.

A. Sehr lebhaft farbige, fast die reinsten Farbenempfindungen repräsentirende Nachbilder entstehen, wenn ein farbloses oder wenigstens überwiegend farbloses sehr lichtstarkes Object unser Sehorgan gereizt hat: wenn wir auf die Sonne, eine Gas- oder Lichtflamme, auf den elektrischen Funken einer Riess'schen Flasche blicken, so haben wir im geschlossenen und bedeckten Auge ein Bild von dem leuchtenden Objecte, welches in verschiedenen sehr intensiven und reinen Farben erscheint und durch verschiedene Farben abklingt. Man nennt diese Nachbilder auch Blendungsbilder, weil wir während ihrer Dauer geblendet, d. h. nicht im Stande sind, mit den getroffenen Netzhauttheilen äussere Objecte deutlich zu erkennen. Fechner (Poggendorff's Annalen 1840, Bd. 50, p. 450), welchem wohl die umfassendsten, für seine Augen leider sehr verhängnissvollen Untersuchungen zu danken sind, giebt folgende farbige Phasen des Nachbildes nach directer, nur momentaner Anschauung der Sonne an: 1) weisses, schnell vorübergehendes Nachbild, 2) lichtblau, 3) lichtgrün, 4) roth, von langer Dauer, 5) roth — ich finde fast genau dasselbe (Physiologie der Netzhaut p. 372). Etwas anders sind die Phasen, wenn man eine Flamme, oder den elektrischen Funken angeschaut hat; ich verweise indess wegen dieser Specialitäten auf Helmholtz' Physiologische Optik p. 374, meine Physiologie der Netzhaut p. 347 und die Angaben in »Literatur«, und bemerke nur noch, dass der erste, welcher Beobachtungen über das Abklingen der Nachbilder durch verschiedene Phasen gemacht hat, Josephus Bonacursius (Kircher's Ars magna lucis et umbrae 1671, p. 118) gewesen zu sein scheint.

Man bekommt aber auch farbige Nachbilder, wenn man mässig helle, nur von diffusem Tageslicht beleuchtete Objecte, z. B. weisses Papier oder den weissen oder grauen Himmel durch das Fenster mehrere Sekunden lang anschaut, namentlich treten bei allerdings überwiegender Farblosigkeit röthliche, gelbliche und grünliche Färbungen auf, welche kürzlich wieder von Hering (Wiener Akademie-Berichte 1872, Bd. 66, III. Juniheft) beachtet worden sind. Dasselbe ist der Fall, wenn ein weisses Papierstück durch den elektrischen Funken im finstern Zimmer beleuchtet worden ist. (Aubert.)

Fig. 70.



Blickt man, nachdem man ein sehr helles farbloses Object angeschaut hat, auf eine dunkle oder mässig helle farblose Fläche, z. B. schwarzen Sammet, graues oder weisses Papier, den grauen Himmel, so ist die Farbenfolge wieder anders; immer aber tritt eine ganze Reihe von Abwandlungen durch verschiedene Principalfarben

auf, welche von Bewegungen der Augen im Wesentlichen unabhängig sind und nur in Bezug auf Dauer und Intensität von denselben beeinflusst werden.

Zu den durch Reizung mit farblosem Lichte hervorgerufenen Nachbildern müssen wohl auch diejenigen Farben gerechnet werden, welche bei langsamer Rotation von Scheiben, welche aus Schwarz und Weiss zusammengesetzt sind, auftreten. Diese Farben hat Brücke nach ihrem Entdecker als Fechner'sche Farben (Fechner in Poggendorff's Annalen 1838, Bd. 45, p. 227) bezeichnet. Wenn man eine Scheibe wie Figur 70 mit einer Geschwindigkeit von 12 bis 40 Umdrehungen in der Sekunde rotiren lässt, so erscheint am Rande des Weiss ein lebhaftes Blau und Gelb. Brücke (Wiener Akademie-Berichte 1864, Bd. 49) hat zur Hervorbringung dieser Farben Scheiben wie Figur 59 (in § 31) benutzt, welche den Vortheil bieten, gleichzeitig die Resultate verschiedener Geschwindigkeit in der Wiederkehr des Weiss übersehen zu können. Brücke sah violett, blau, gelbgrün, gelb — ich hauptsächlich gelb und blau — Jeder, dem ich die Scheiben bei der angegebenen Geschwindigkeit zeigte, sah die Fechner'schen Farben sehr deutlich und war frappirt von ihrer Intensität. (Das Nähere s. Physiologie der Netzhaut p. 379.)

Die subjective Natur der Fechner'schen Farben ist seit ihrer Entdeckung allgemein angenommen worden, und unter anderem spricht auch der Umstand dafür, dass dieselben nicht gleich bei den ersten Drehungen der Scheibe, sondern erst etwas später auftreten und bei fortgesetzter Drehung an Lebhaftigkeit sehr zunehmen. Fechner hat das Erscheinen der Farben dahin erklärt, dass durch das ungleichzeitige Eintreten und Vergehen der durch die verschiedenen farbigen Componenten des weissen Lichtes erregten Empfindungen eine Farbenempfindung resultirte, oder dass die Maxima der Erregung für die das Weiss zusammensetzenden Farbenstrahlen auseinanderfielen, eine Erklärung, welche ganz in Uebereinstimmung mit den Beobachtungen von Kunkel (s. § 45) ist. Brücke (l. c. p. 21—24) hat aber nachgewiesen, dass sich hier primäre und secundäre Erregung, d. h. Lichteindruck und Nachbild combiniren, und diese Erklärung ist ganz in Harmonie mit den Färbungen der Nachbilder, welche man nach dem Anschauen weisser Objecte auf dunklem Grunde hat, wenn man die Augen schliesst und bedeckt.

Dass weisses Licht farbige Nachbilder erzeugt, würde auf dem Boden der Young-Helmholtz'schen Hypothese sehr begreiflich sein, da die Erregbarkeit der drei Faserarten als verschieden angenommen wird, und somit auch der Abfall der Erregbarkeitscurven als verschieden erwartet werden kann. Nach der Hering'schen Theorie würde man sich vorstellen, dass weisses Licht sowohl die schwarzweisse Substanz, als auch die rothgrüne und blaugelbe Substanz erregt, bei den beiden letzteren Substanzen aber »unter der Schwelle« bleibt, weil die Wirkung auf diese Substanzen zu gering ist: hat die Reizung aufgehört, so wird die Erregung der farbigen Substanzen fortdauern und zunehmen bis zu einer gewissen Intensität, während die Erregung der schwarzweissen Substanz schon erloschen ist. (cf. Hering, Wiener Akademie-Berichte 1874, Bd. 69, III. § 29 und § 39.) Dasselbe würde für die Fechner'schen Farben gelten und aus diesen Beobachtungen kein Einwurf gegen die Hering'sche Theorie entnommen werden können.

B. Wenn homogenes oder überhaupt farbiges Licht auf die Netzhaut einwirkt, so treten theils gleichfarbige, theils complementäre (antagonistische nach Hering) Nachbilder auf, und im Ganzen ist die Farbe der Nachbilder um so reiner, d. h. ohne Beimischung von Grau, je reiner die erregende Farbe ist. Ob die Nachbilder gleichfarbig oder complementär sind, ist in erster Linie abhängig von der Dauer der primären Erregung: Helmholtz (Bericht der 34. Naturforscherversammlung, Carlsruhe 1858, p. 225 und Physiol. Optik p. 367) fand, dass wenn

man momentan auf gefärbte Objecte blickt und dann die Augen schliesst und bedeckt, das Nachbild positiv und gleichfarbig ist. Ich (Moleschott's Untersuchungen 1858, VIII. p. 289 u. f.) fand gleichzeitig, dass Objecte, welche momentan durch den elektrischen Funken beleuchtet werden, immer positive und meistens gleichfarbige, unter Umständen aber auch complementäre Nachbilder geben — letzteres ist wohl von besonderen Contrastwirkungen abhängig. (Ueber das Thatsächliche siehe meine Physiologie der Netzhaut p. 377.)

Von besonderem Interesse ist es aber, dass nach kurzer Dauer des primären Eindruckes ein Umschlagen des positiv gleichfarbigen Nachbildes in ein positives complementäres Nachbild eintreten kann.

Dies hat Purkinje (Beiträge zur Physiologie der Sinne 1825, II. p. 110, Figur 34) beobachtet: »Wenn man eine roth glühende Kohle mässig im Kreise bewegt, so dass die einzelnen Momente der Blendung früher Zeit gewinnen auszulöschen, ehe das Gluthbild auf seine erste Stelle zurückkehrt, so zeigt sich ein rothes Band als Spur des ersten Momentes des Eindrucks, diesem folgt ein leeres Intervall, dann das grüne Spectrum, ebenfalls in ein Band verzogen und jenem ersten im Kreise nachlaufend, endlich eine schwarze Furche, von einem grauen Nebel umgeben.« Ich sehe gleichfalls das positive complementäre Nachbild Purkinje's, nur mit der Modification, dass der rothe Streifen allmälig farblos wird und direct in den blaugrünen Streifen übergeht, ohne ein dunkles Intervall zwischen beiden. Ebenso hat Exner (Wiener Akademie-Berichte 1872, Bd. 65, III. Februarheft) die Erscheinung gesehen und in Figur I abgebildet. Brücke (ebenda 1864, Bd. 49, p. 12) hat den Versuch dahin abgeändert, dass er in eine undurchsichtige drehbare Scheibe einen Sectorabschnitt schneidet, denselben mit einem rothen Glase überdeckt und durch dasselbe auf eine Lampenflamme oder Lampenglocke blickt: dreht man die Scheibe langsam, so erscheint eine dem Purkinje'schen Nachbilde ganz ähnliche kreisförmige Figur. — Auf demselben Empfindungsvorgange beruht wohl eine von mir (Physiologie der Netzhaut p. 363) beobachtete Erscheinung: wenn eine schwarze Scheibe mit einem rothen Sector von 60° in gewöhnlichem diffusem Tageslichte mit mässiger Geschwindigkeit, etwa 8 Mal in der Sekunde, sich dreht, so erscheint sie grün mit blauen Flecken und nur hin und wieder blitzt ein rother radialer Streifen auf.

Wird das eben beschriebene positive complementäre Nachbild hervorgebracht durch Drehung der Scheibe mit rothem Glasfenster, so erscheint bei langsamer Drehung ein blaugrüner Streifen nach Vorübergang der rothen Oeffnung: bei mittlerer Geschwindigkeit, etwa 20 Umdrehungen in 1″, erscheint ein vollständiger Kranz, welcher weniger roth, aber heller ist als das rothe Fenster; bei noch schnellerem Drehen wird der Kranz röther, verliert aber an Helligkeit. Die grössere Helligkeit bei mittlerer Drehungsgeschwindigkeit unter gleichzeitiger Abnahme der Farbenintensität rührt nach Brücke's nicht zu bezweifelnder Erklärung davon her, dass sich zu der primären Empfindung das positive complementäre Nachbild addirt, worauf bereits in § 31 hingedeutet wurde.

Ein complementäres positives Nachbild hat Brücke (Poggendorff's Annalen 1851, Bd. 84, p. 443) ferner auf folgende Art erzeugt: sieht man durch ein rein rothes Glas einige Zeit auf eine helle Lichtflamme, so erscheint, wenn man die Augen schliesst, die Flamme in bläulich grüner Färbung sehr hell und deutlich. Schliesse ich die Augen mehrmals hinter einander ohne ihre Stellung zur Flamme zu verändern, so tritt das positive complementäre Nachbild noch deutlicher und lebhafter auf. Auch wenn ich den elektrischen Funken durch ein rothes Glas sehe, erhalte ich das positive complementäre Nachbild: der Funken erscheint intensiv roth mit rothem Randscheine; unmittelbar nach dem Ueberspringen er-

scheint ein ziemlich tiefgrünes Nachbild ohne Randschein (vergl. hierüber Exner, Wiener Akademie-Berichte 1872, Bd. 65, III.), dem ein blasses unbestimmt farbiges Bild folgt. — Bei den andersfarbigen Gläsern haben weder Brücke noch ich ein positives complementäres Nachbild beobachten können. — Auf die Theorie dieses Nachbildes werden wir unter *E.* zurückkommen.

C. Die negativen Nachbilder sind immer complementär gefärbt — bis jetzt wenigstens ist noch kein negatives gleichfarbiges Nachbild beschrieben worden. Man erhält sie, wenn man einige Sekunden, oder eine Minute lang oder noch länger, je nach der Empfindlichkeit des Auges, auf ein farbiges Object unverwandt blickt, dann die Augen schliesst, oder auf einen weissen, grauen oder schwarzen Grund wendet und auf demselben einen Punkt scharf fixirt: dann entwickelt sich, an Deutlichkeit und Intensität zunehmend, das negative complementäre Nachbild zu grosser Lebhaftigkeit der Färbung mit scharfen Umrissen, und vergeht dann, allmälig abnehmend, wieder ohne sonstige Veränderungen.

Wenn man die Farbe des Nachbildes schlechtweg als complementär bezeichnet, so ist das im Allgemeinen vollkommen gerechtfertigt — indess ist dabei das zu berücksichtigen, was Brücke für die Contrastfarben (s. § 43) in Bezug auf Nüancirung der Farben beobachtet hat. Es ist ausserdem zu berücksichtigen, dass besondere individuelle Ausnahmen vorkommen. Brücke (Poggendorff's Ann. 1851, Bd. 84, p. 425) giebt an, dass einer seiner Schüler von Roth ein violettes, statt eines blaugrünen Nachbildes erhalten habe — auch mein Freund Dr. Kästner auf Fehmarn, welcher die Farben sehr genau unterschied, gab, ohne von Brücke's Erfahrung etwas zu wissen, an, dass das Nachbild von Roth für ihn violett sei; im Journal de Physique par Rozier 1787, T. 30, p. 407 findet sich die Angabe, dass das Nachbild von Roth auf weissem Grunde einem Beobachter nicht grün, sondern glänzend weiss (*d'un blanc brillant*) erscheine.

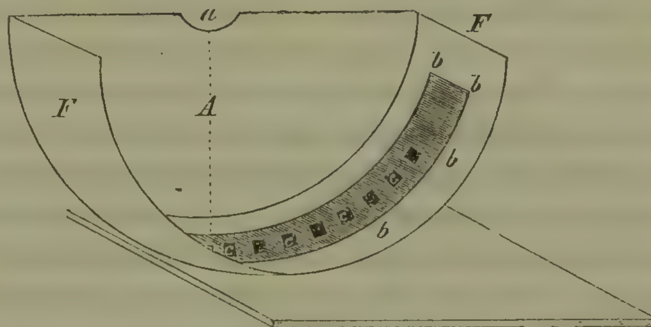
Die Dauer und Intensität dieser Nachbilder hängen theils von der Dauer und Intensität des primären Eindrucks, theils von den Einwirkungen des reagirenden Lichtes ab, theils werden sie beeinflusst von Bewegungen des Auges und der Augenlider, so wie von dem Erregungszustande der Netzhaut. Diese verschiedenen Einflüsse machen Messungen über die Dauer und Intensität der Nachbilder sehr schwierig. Das meiste in dieser Beziehung ist von Fechner (Poggendorff's Annalen 1840, Bd. 50, p. 201) beobachtet worden und dürfte etwa Folgendes festgestellt sein: abgesehen von sehr heftigen Lichteinwirkungen, wie directem Sonnenlicht, sind Dauer und Intensität des Nachbildes nicht grösser, wenn dieselben im primären Eindrucke grösser sind. Ob die Farbentöne sich verschieden verhalten, ist zweifelhaft. Das negative Nachbild dauert länger bei schwachem als bei starkem reagirenden Lichte; völlige Dunkelheit scheint nicht günstig für das Nachbild. Langsamer Wechsel von Hell und Dunkel wirkt am günstigsten. Ruhige Haltung des Auges begünstigt die Dauer und Intensität des Nachbildes. Augenblinzeln und Druck auf das Auge lassen das Nachbild momentan sehr intensiv auftreten, verkürzen aber die Dauer desselben. Morgens unmittelbar nach dem Erwachen haben mir die Nachbilder immer am intensivsten und dauerndsten geschienen.

D. Im Ganzen verhalten sich die Nachbilder auf den mehr peripherischen Zonen der Netzhaut sehr ähnlich den durch directes Sehen gewonnenen; nur ist zu bemerken, dass die sogenannten Blendungsbilder nur etwa 30° von der *Fovea*

centralis aus empfunden werden, darüber hinaus keine Blendungsbilder mehr auftreten. FÖRSTER (Hemeralopie 1857, p. 30) giebt an, dass man unter einem Winkel von 45° gegen die Sehaxe Sonnenstrahlen mehrere Sekunden lang durch die Pupille kann einfallen lassen, ohne irgend lebhafte oder andauernde Nachbilder zu bewirken — was ich bestätigen kann; nur vom elektrischen Funken habe ich Blendungsbilder auf weiter vom Centrum entfernten Theilen bekommen. (Moleschott's Untersuchungen V. p. 293.)

Für die im verbreiteten Tageslichte durch indirectes Sehen erzeugten Nachbilder hat zuerst PURKINJE (Beiträge II. p. 17) angegeben, dass sie weniger intensiv erscheinen und früher verschwinden. Ich (Moleschott's Untersuchungen 1858, IV. p. 215) habe mittelst einer Vorrichtung, wie Figur 71 zeigt, einem Halbkreise von 200 Mm. Radius, in dessen Mittelpunkt sich das Auge *a* befindet, Nachbilder für den horizontalen Meridian der Netzhaut erhalten, indem auf den Halbkreis ein Papierstreifen von etwa 100 Mm. Breite gelegt wurde, auf welchem farbige Quadrate von je 1 Ctm. Seite und 1 Ctm. Entfernung von einander befestigt sind. Nachdem der Beobachter eine bestimmte Zeit lang den Mittelpunkt des mittelsten Quadrates fixirt hat, schliesst er die Augen oder projicirt die Nachbilder auf einen dicht daneben stehenden Halbkreis von schwarzem Sammet oder weissem Papier und fixirt den tiefsten Punkt desselben. — ADAMÜCK und WOINOW (Archiv f. Ophthalm. 1871, XVII. 1, p. 137) haben sich einer anderen Methode bedient, welche im Wesentlichen darin besteht, dass ein farbiges Quadrat, welches auf grauem Grunde liegt, eine Zeit lang indirect gesehen und dann auf ein gegebenes Zeichen plötzlich hinweggezogen wird.

Fig. 71.



Die Resultate der Versuche sind folgende: 1) die peripherischen Nachbilder erscheinen in derselben Farbe wie die centralen (AUBERT). Die entgegengesetzten Resultate von ADAMÜCK und WOINOW beruhen wahrscheinlich darauf, dass sie den Gesichtswinkel für das farbige Object so klein gewählt haben, dass die Farbe beim indirecten Sehen verändert erschienen ist. Auffallender Weise haben die Autoren nichts über die Grösse der von ihnen benutzten Objecte angegeben *); 2) sie erscheinen bei ruhiger Fixation ziemlich scharf begrenzt, aber weniger intensiv, je mehr sie nach der Peripherie hin liegen (AUBERT); 3) sie dauern kürzere Zeit als die centralen und zwar im Ganzen um so kürzere Zeit, je kürzere Zeit der primäre Eindruck gedauert hat (AUBERT). Eine »feststehende Proportionalität« ist

*) Ich möchte bei dieser Gelegenheit den Wunsch aussprechen, dass die Beobachter, wenn sie quantitative Angaben publiciren, nicht wesentliche Grössenangaben bei Beschreibung der Versuche weglassen: so giebt z. B. EXNER nichts über die Rotationsgeschwindigkeit seiner Scheiben, KUNKEL nichts über die absolute Breite des constanten Spaltes an; LANDOLT giebt in der einen Schrift (Il Perimetro) nur den Halbmesser desselben, aber nicht die Grösse der Objecte, in der andern (III. 1, p. 69 dieses Handbuchs) die Grösse der Quadrate, aber nicht den Halbmesser an.

aus diesem Satze wohl nicht zu deduciren, wie Adamück und Woinow thun; ich habe sogar (Moleschott's Untersuchungen IV. p. 239) gesagt: »die Dauer der Nachbilder überhaupt ist sehr verschieden und zum Theil von der Dauer des primären Eindrucks abhängig« (cf. p. 227 ibid.). 4) Je peripherischer die Nachbilder sind, um so kürzere Zeit dauern sie. (Adamück und Woinow.) Ich soll diesen Satz, wie Adamück und Woinow behaupten, aufgestellt haben, was ich in Abrede stellen muss. 5) Nachdem die Nachbilder verschwunden sind, werden sie wieder sichtbar und zwar ganz unregelmässig, indem bald das eine, bald das andere Nachbild wieder auftaucht, allmälig intensiver wird und dann wieder vergeht; ein solches Verschwinden und Wiedererscheinen einzelner Nachbilder habe ich bis zu 5 Mal beobachtet. Diese Beobachtung scheint mir ein sicherer Beweis, dass die sogenannten Oscillationen (Plateau) der Nachbilder unabhängig von Bewegungen der Augen oder Augenlider vorkommen. (cf. § 32.)

E. Wir werden an eine Theorie der Nachbilder entweder den Anspruch machen können, dass sie die Erscheinungen unter möglichst einfache und der übrigen Nervenphysiologie sich anschliessende Ausdrücke subsumire, oder dass sie den physikalischen und chemischen Vorgang im Nerven nachweise. Da wir von der letzteren Anforderung noch weit entfernt sind, so werden die Bezeichnungen des Zustandes der Netzhaut als Reizungszustand und Ermüdungszustand derselben vorläufig gerechtfertigt erscheinen, so lange sie mit anderweitigen Thatsachen nicht im Widerspruche sind. Indess dürfen wir dabei nicht vergessen, dass uns der Gleichgewichtszustand der Sehsubstanz und die daraus resultirende Empfindung unbekannt ist, denn wir kennen nur Veränderungen der Empfindung, und es ist sehr misslich zu sagen, ob eine Veränderung im gegebenen Falle auf einer Ermüdung oder Reizung beruht. Das Abklingen der Blendungsbilder, die Oscillationen sind in dieser Beziehung durchaus unklar — die positiven gleichfarbigen Nachbilder können wir nicht mehr als eine Fortdauer der Erregung ansehen, da dieselben sofort negativ und complementär werden, wenn reagirendes Licht hinzukommt — nur die negativen complementären Nachbilder würden als Ermüdungszustände angesprochen werden dürfen, weil sie eine Verminderung in der Empfindung objectiver Reize bedingen. Wenn ein rothes helles Nachbild im geschlossenen und bedeckten Auge erscheint, auf grauem Papier aber ein grünes dunkles Nachbild, so kann man doch nicht sagen, dass die letztere Empfindung die Folge einer Ermüdung der rothempfindenden Fasern sei, da ja dann im lichtlosen Auge auch Grün würde empfunden werden müssen. — Das Purkinje'sche positive complementäre Nachbild hat Exner (Wiener Akademie-Berichte 1872, Bd. 65, III.) unter der für die gegebenen Verhältnisse zulässigen Annahme, dass je schwächer die Reizung, desto länger das Nachbild sei, und der weiteren Annahme, dass rein rothes Licht die grün- und blauempfindenden Fasern reize und stark genug reize, dahin erklärt, dass die rothempfindenden Fasern in diesem Experimente stark, die andern Fasern schwach gereizt würden, und deswegen die Reizung der letzteren länger dauerte und den grünblauen Streifen bildete. Unbeantwortet bleibt aber immer noch die Frage, warum nur Roth, nicht aber Blau, Grün oder Gelb ein positives complementäres Nachbild erzeugen. Ich finde in der That, dass durch die Ausdrücke »Fortdauer der Erregung« und »Ermüdung« nur eine mitunter bequeme Umschreibung der Thatsachen gewonnen wird, mit ihnen aber die Gefahr verbunden ist, das Umschriebene als erklärt anzusehen

und von weiterer Untersuchung abzustehen. Von diesem Gesichtspunkte aus scheint mir die Hering'sche Theorie mehrere Vorzüge zu haben, doch wird vorerst die weitere Entwickelung und Begründung derselben durch Hering selbst abzuwarten sein. Hervorzuheben scheint mir indess schon jetzt, dass die Bezeichnung von Assimilation und Dissimilation labiler, so zu sagen unpräjudicirlicher ist, als die von Ermüdungs- und Erregungszustand, und doch dem als wirklich vorauszusetzenden Processe in der Sehsubstanz mehr adäquat scheint.

Bevor übrigens an eine sichere und consequente Erklärung der Nachbilder-erscheinungen durch irgend eine Theorie gegangen werden kann, werden noch viele messende Untersuchungen über das Anklingen und Abklingen der verschiedenen Farbentöne und Farbennüancen, die Helligkeitsverhältnisse der Nachbilder zur primären Empfindung, die Einflüsse der nicht direct gereizten Netzhautpartien u. s. w. anzustellen sein — denn eine allgemein befriedigende Erklärung wird wie überall, so auch hier nur durch quantitative Bestimmungen gewonnen werden können.

§ 47. Farbenblindheit. — Die Farbenblindheit hat für die Physiologie ein Interesse, insofern das normale Auge bestimmte Grenzen bietet, über welche hinaus zwar noch Lichtempfindung, aber keine Farbenempfindung mehr stattfindet, wie wir § 37 bis § 42 gesehen haben — dann, weil man die Hoffnung gehabt hat und noch hat, aus den Empfindungen der Farbenblinden Schlüsse auf die normalen Verhältnisse und Bedingungen der Farbenempfindung machen zu können. Gerade die Untersuchungen über Farbenblindheit haben in neuerer Zeit die lebhaftesten Discussionen über die Haltbarkeit der Young-Helmholtz'schen Farbentheorie hervorgerufen, und dieselbe vielfach als unvereinbar mit den Befunden an Farbenblinden erklärt. Wir verweisen in dieser Beziehung auf die Arbeiten von Oppel (Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main 1859—60, p. 70—144, und 1860—1861, p. 42), Rose (Archiv f. Ophth. 1861, VII. 2, p. 72), Dor (Sitzungsberichte der Berner naturforschenden Gesellschaft 1872), Briesewitz (Ueber das Farbensehen etc. Diss. inaug. Greifswald 1872), Schirmer (Archiv f. Ophthalm. 1872, XIX. 2, p. 194), Hochecker (ibid. 1873, XIX. 3, p. 1), Stilling (Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen 1875, Ausserordentliches Beilage-Heft zu den Klinischen Monatsblättern, XIII. Jahrgang), welche gegen die Young-Helmholtz'sche Theorie sich erklären, — während Raehlmann (Arch. f. Ophth. XIX. 3, p. 88), Leber (Klinische Monatsblätter 1872, p. 467), Fick (Würzburger Verhandlungen 1873, Neue Folge V. p. 129) die Young-Helmholtz'sche Theorie unter Annahme weiterer Hypothesen über die Erregbarkeit der 3 Faserarten aufrecht erhalten. Ich bin durch diese Untersuchungen in meiner Ansicht (Physiologie der Netzhaut 1865, p. 184) nur bestärkt worden, »dass die Untersuchungen an Farbenblinden überhaupt nicht geeignet seien, für oder wider die Young'sche Theorie benutzt zu werden, weil zu viele Möglichkeiten in der Veränderung der Fasern denkbar sind, welche dem Zustandekommen einer Farbenempfindung Hindernisse bereiten können.«

In Bezug auf die Unempfindlichkeit des normalen Auges für Farben unter den oben angegebenen Verhältnissen im Vergleich zur angeborenen Farbenblindheit möchte ich aber bemerken, dass wenn auch Fälle von Farbenblindheit vorkommen, in denen nur bei Verminderung der Helligkeit oder des Gesichtswinkels

Farben nicht empfunden werden können, in der ungeheuren Mehrzahl der Fälle die Farbenblindheit keineswegs nur quantitativ von der normalen Farbenempfindlichkeit unterschieden ist. Ebenso ist auch nach Schön (Die Lehre vom Gesichtsfelde etc. Berlin 1874, p. 40) die krankhafte oder erworbene Farbenblindheit von der angeborenen Farbenblindheit vollständig zu sondern, weil bei ersterer »jede Farbenempfindung um eine gleiche Quote herabgesetzt ist.« — Diese Erwägungen schliessen ein näheres Eingehen auf die Farbenblindheit aus.

Wir erwähnen hier noch die künstliche partielle Farbenblindheit, welche durch das Santonin erzeugt wird. Etwa 15 Minuten nach dem Einnehmen von etwa 1 Grm. santoninsauren Natrons tritt ausser einigen unangenehmen Empfindungen (Uebelkeit, Müdigkeit u. dergl.) Gelbsehen oder Grünlichgelbsehen von hellen, zugleich mit Violettsehen von dunklen Objecten ein; vom Spectrum verschwindet der violette Theil. Diese Erscheinungen scheinen constant zu sein. (Rose in Virchow's Archiv 1860, XIX. p. 522, — XX. p. 245, — 1863, XXVIII. p. 30, — M. Schultze, Ueber den gelben Fleck, Bonn 1866, p. 6, — Helmholtz, Physiol. Optik p. 848, — Dor, Bibliothèque universelle de Génèves 1867, Bd. 28, p. 155 nach Meissner's Jahresbericht 1867, p. 590, — Huefner, Arch. f. Ophthalm. 1867, XIII. 2, p. 309). Ob das rothe Ende des Spectrum verkürzt ist (Schultze), ist zweifelhaft (Dor). Schultze sah im Spectrum die violette Linie des Rubidium als farblose helle Linie. Trotz der verminderten oder vernichteten Empfindlichkeit für objectives Violett ist subjectives, wohl nicht auf Contrastempfindung beruhendes Violettsehen vorhanden: dieses Violettsehen tritt nämlich früher auf, als das Gelbsehen (Rose, Huefner), daher auch die Schultze'sche Erklärung des Violettsehens als eine Wirkung des complementären Nachbildes nicht haltbar erscheint. — Für die Theorie der Farbenempfindung lassen sich, wie mir scheint, keine haltbaren Grundlagen aus den Beobachtungen im Santoninrausche gewinnen.

Ueber den Sitz der Farbenempfindung oder das Centralorgan, wo die Erregung der Opticusfasern in Farbenempfindung umgesetzt wird, hat Niemetschek (Prager Vierteljahrschrift 1868, Bd. 100, p. 224) die Thesis aufgestellt, dass dasselbe in den vorderen Windungen des Grosshirns liege, und gründet diesen Ausspruch auf die normalen Augen- und Netzhautbefunde bei Farbenblinden einerseits, anderseits auf Beobachtungen, wonach bei 4 Farbenblinden die Entfernung der beiden Augenmittelpunkte von einander geringer (= 49,5—54 Mm.) als bei normal Sehenden gefunden wurde, was von einer Verkümmerung der zwischen den Augenhöhlen eingeschobenen Stirnportion des Gehirns herrühren soll (p. 230). Niemetschek fand bei einem nur auf dem einen und zwar dem linken Auge Farbenblinden den Abstand des Hornhautrandes von der Nasenwurzel rechts = 28 Mm., links = 31 Mm. (p. 236). Ferner sollen bei Krankheitsprocessen in den vorderen Windungen des Grosshirns subjectives Farbensehen und Farbenblindheit auftreten. — Weitere Untersuchungen und Beobachtungen in grösserer Ausdehnung werden zur Prüfung dieser an sich nicht unwahrscheinlichen Hypothese Niemetschek's anzustellen sein.

§ 48. Licht- und Farbenempfindung in Folge mechanischer Reizung. — Sowohl ein kurz dauernder Druck und eine Zerrung der Netzhaut bringen auf Grund der specifischen Energie des Sehnerven Lichtempfindungen,

sogenannte Phosphene hervor, als auch ein anhaltender Druck, welcher auf das Auge ausgeübt wird.

Die erste Art von Lichtempfindungen tritt auf, wenn man mit dem Finger, einem Stecknadelknopfe und dergleichen eine Stelle an der hinteren Hälfte des Augapfels drückt und dabei die Augen geschlossen hat, oder sich im Dunkeln befindet. Es erscheint dann eine beschränkte Stelle im Gesichtsfelde leuchtend, entsprechend der gedrückten Netzhautstelle in den Raum projicirt; die Stelle ist nicht scharf contourirt, sie erscheint mir in gelblichem Lichte. THOMAS YOUNG (Philos. Transactions 1801, p. 59) gelang es, den Druck unmittelbar an der Stelle der *Fovea centralis* auszuüben, ich kann es nur bis auf etwa 15° von derselben bringen. Ausserdem bemerkt man noch eine zweite, weniger helle Stelle im Gesichtsfelde, welche der Eintrittsstelle des Sehnerven entspricht. Sonst bemerke ich im Finstern nur noch an vielen Stellen des Gesichtsfeldes helle krumme Linien, vielleicht Stücken der Aderfigur entsprechend.

Drückt man, mit geschlossenen Augen vor dem Fenster stehend, so dass das Gesichtsfeld roth erscheint, gegen die hintere Hälfte des Augapfels, so erscheint der gedrückten Stelle entsprechend ein dunkler blaugrüner Fleck, mit einem hellen Rande umgeben, ausserdem der Eintrittsstelle des Sehnerven entsprechend ein hellgelber, mit einem dunkeln Rande versehener Fleck.

Im hellen Gesichtsfelde, wenn man nach PURKINJE's (Beobachtungen zur Physiologie der Sinne I. 1823, p. 138) Anweisung in den innern Augenwinkel die Ecke eines weissen Papiercartons bringt, das Auge stark nach innen wendet und an der äusseren Seite des Bulbus mit einem Stecknadelknopfe drückt, so erscheint ein dunkler Fleck mit heller Einfassung; die Gegend des fixirten Punktes erscheint als ein mattgrauer Fleck, und die Gegend der Eintrittsstelle des Sehnerven als ein grauer unbestimmter Fleck mit hellem Rande. Lasse ich mit dem Drucke plötzlich nach, so erscheint mir an der fixirten Stelle ein hellerer Fleck, die beiden andern Flecken verschwinden. Von einem System bogenförmiger Linien zwischen Druckstelle und *Fovea centralis*, wie es PURKINJE (l. c. p. 139 Figur 29) und weniger deutlich HELMHOLTZ (Physiol. Optik p. 196 Figur 1, Tafel V.) gesehen haben und abbilden, kann ich nichts bemerken (Physiol. der Netzhaut p. 338).

Den Druckbildern reihen sich einige wahrscheinlich von Zerrung der Netzhaut herrührende Lichterscheinungen an: PURKINJE (l. c. p. 79) hat eine Lichterscheinung beschrieben und Figur 21 ibid. abgebildet, welche bei kräftigen Augenbewegungen nach aussen oder innen als ein feuriger Kreis im Finstern in der Gegend der *Papilla optica* auftritt — im Hellen oder wenn Licht durch die Augenlider dringt, dagegen als ein dunkler Fleck. Etwas anders ist die Erscheinung bei HELMHOLTZ (Physiol. Optik Figur 2, Tafel V.), CZERMAK (Wiener Akad.-Berichte 1854, Bd. 12, p. 364 und Bd. 15, p. 455) und AUBERT (l. c. p. 339). — Ferner gehört hierher das Accommodationsphosphen von CZERMAK (Wiener Akademie-Berichte 1857, Bd. 17, p. 78 und Arch. f. Ophth. 1860, VII. 1, p. 147), welches schon PURKINJE (Beobachtungen II. p. 115) beobachtet zu haben scheint. CZERMAK sieht, wenn er im Finstern die Augen für die Nähe möglichst stark accommodirt hat und dann plötzlich für die Ferne accommodirt, einen ziemlich schmalen feurigen Saum an der Peripherie des Gesichtsfeldes — er erklärt diese Erscheinung aus einer Zerrung der *Ora serrata* bei der plötzlichen Abspannung des Accommodationsapparates.

Ausserdem treten nun eigenthümliche Licht- und Farbenerscheinungen auf, wenn ein gleichmässiger anhaltender Druck auf den Augapfel ausgeübt wird, welche von Elliot (Observations on the senses 1780, p. 1) und Purkinje (Beobachtungen I. p. 22—49 und II. p. 111) genau beschrieben worden sind. Die dabei erscheinenden Farben sind von wunderbarer Pracht und Reinheit, auch durch ihren steten Wechsel sehr anziehend.

Wenn ich im Finstern und bei geschlossenen Augen einen gelinden, aber gleichmässigen Druck auf den Augapfel ausübe, so erscheint in der Mitte des Gesichtsfeldes ein intensiv heller elliptischer Nebel (bei Purkinje rautenförmig), aus dessen Centrum Strahlen nach der Peripherie schiessen. Der Nebel breitet sich immer mehr nach der Peripherie des Gesichtsfeldes hin aus und es beginnen Farbenmassen vom Centrum nach der Peripherie hin zu wogen in verschiedener Abwechselung, meist zuerst ein glänzendes Blau, in dessen Centrum sich ein prächtiges Roth entwickelt und das Blau nach der Peripherie vertreibt (wie bei den sogenannten Chromatropen), dann ebenso Violett, Grün u. s. w. Zwischen diesen farbigen Wolken erscheinen in schnellem Wechsel unregelmässige dunkle Flecke, etwa den verästelten Pigmentzellen ähnlich, welche auch oft eine Art Netzwerk bilden; sie sind in steter Bewegung und ewigem Entstehen und Vergehen begriffen. Früher oder später fängt im Centrum ein lebhaftes Flimmern an, aus dem sich mehrere helle radiale Strahlen entwickeln, welche sich wie Windmühlenflügel drehen bald nach rechts, bald nach links. Zwischen diesen mehr nebelartigen, d. h. nicht scharf begrenzten Formen tritt nun zuerst an einzelnen Stellen, später immer mehr das Gesichtsfeld ausfüllend, eine regelmässige Zeichnung auf, welche aus hellen und dunkeln Vierecken besteht, die gelblich und bläulich oder weiss und braun, aber immer in matten Farbennüancen erscheinen. Bei mir nehmen sie immer nur einen Theil des Gesichtsfeldes ein und sind stellenweise unterbrochen — oft erscheinen statt ihrer regelmässige Sechsecke von anderer Farbe und Helligkeit. Purkinje hat diese Formen ganz so, wie ich sie sehe, in Figur 8, 11b, 13 (Bd. I.), abgebildet. Bei fortdauerndem Drucke wird die Ausfüllung des Gesichtsfeldes immer lückenhafter und endlich wird es tief dunkel, und nur einzelne gelbe, geschlängelte Linien, vielleicht Stücke der Purkinje'schen Aderfigur treten auf. — Bei starkem Drucke gehen diese Erscheinungen rasch vorüber und das Gesichtsfeld wird dunkel. Werden während des Druckes Augenlidbewegungen gemacht, so wechseln die Erscheinungen in Farbe und Lichtintensität. — Beim Nachlassen des Druckes oder vollständiger Aufhebung desselben tritt ein unentwirrbares Gewimmel von hellen, durch das Gesichtsfeld schiessenden Funken und Linien auf, welches Helmholtz sehr passend mit den Empfindungen nach Aufhören des Druckes auf den *N. ischiadicus* vergleicht, ausserdem tauchen die Vierecke, Stücke der Aderfigur, wirbelnde Figuren in verschiedenen Gegenden des Gesichtsfeldes auf, welche allmälig verschwinden — jeder Lidschlag bringt aber grosse Helligkeit des Gesichtsfeldes und deutlicheres Auftreten der Figuren hervor.

Vierordt (Archiv für physiol. Heilkunde 1856, p. 567 und Grundriss der Physiologie 1862, p. 337) und Laiblin (Die Wahrnehmung der Chorioidealgefässe, Diss. inaug. Tübingen 1856) beschreiben ein nach längerer Zeit fortgesetztem, allmälig zunehmendem Drucke auftretendes rothes Netzwerk mit schwarzen Zwischenräumen, welches sie als die innerste Gefässschicht der Chorioidea deuten, und vor ihm Stücke der Netzhautvenen von bläulich silberglänzender Farbe. Meissner (Zeitschrift für rationelle Medicin III. Reihe, Bd. 1, p. 568, Jahresbericht für 1856), Helmholtz (Physiol. Optik 1860, p. 198) und ich (Physiologie der Netzhaut p. 341) haben diese Erscheinungen nicht sehen können.

Wenn man ferner bei geöffnetem Auge einen continuirlichen Druck auf den Bulbus wirken lässt, so treten theils Verdunkelung des Gesichtsfeldes, theils besondere subjective Erscheinungen ein. Die Verdunkelung des

Gesichtsfeldes beginnt an der Peripherie, schreitet nach dem fixirten Punkte zu allmälig fort, indem die gesehenen Objecte verschwinden, und bei ruhiger Haltung des Auges kann auch der fixirte Punkt verschwinden, nachdem derselbe immer dunkler geworden ist. Ausserdem treten, wenn man auf ein gleichmässig beleuchtetes Object, z. B. den Himmel oder einen Bogen weisses Papier, blickt, verschiedene subjective Erscheinungen auf, und zwar ein dunkler Fleck um die fixirte Stelle, an Grösse etwa der *Fovea centralis* entsprechend und ausserdem Pulsationserscheinungen; die Phänomene sind von Purkinje (Beobachtungen Bd. I. p. 125 und 134), mir (Physiol. der Netzhaut p. 342), Pope (Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde I. 1, 1869, p. 72 und 1870, I. 2, p. 197) und Reich (Klinische Monatsblätter 1874, p. 238) genauer beschrieben worden und scheinen individuell im Einzelnen ziemlich verschieden zu sein; von Einfluss ist jedenfalls die Stärke des Druckes.

Als Druckphänomene sind ferner wohl zwei von Purkinje (l. c. I. p. 125 und II. p. 78) beobachtete Erscheinungen zu deuten, nämlich erstens ein Fleck in der Mitte des Gesichtsfeldes beim angestrengten Nahesehen: bei mir ist der helle Fleck um den fixirten Punkt von einem dunkleren, mattvioletten Hofe umgeben und verschwindet beim Nachlassen der Accommodation; Helmholtz (Physiologische Optik p. 199) hat einen dunkeln Fleck, am Rande braun abschattirt, gesehen. — Zweitens hat Purkinje eine mattleuchtende elliptische Fläche gesehen, wenn er im Dunkeln bei stark zusammengekniffenen Augenlidern fest nach oben sah und dann plötzlich den Schliessmuskel erschlaffen liess. Auch ich sehe diese mattgraue elliptische Fläche, welche nur momentan erscheint und sich dann in Nebel auflöst, die nach aufwärts und abwärts wogen.

Kürzlich hat Reich (Klinische Monatsblätter 1874, p. 247) auch Veränderungen in der Farbenperception beobachtet bei continuirlichem Druck auf das Auge, indem er durch farbige Gläser auf eine helle Wand oder in eine Kerzenflamme blickte, und findet folgende Uebergänge der Empfindung: Roth geht durch orange und gelb, Grün durch grünlichgelb und gelb, Blau durch schwachviolett in grauweiss und dann in Finsterniss über; er glaubt zu finden, »dass Steigerung des intraocularen Druckes die centralen Theile der Netzhaut in solche Bedingungen stellt, dass ihre Farbenperception einigermassen den peripheren Netzhauttheilen analog wird.«

§ 49. Lichtempfindung bei elektrischer Reizung. — Die specifische Energie der Sehnerven, auf Reizung Licht zu empfinden, ergiebt sich ferner aus den Resultaten der elektrischen Reizung. Dass durch Stromesschwankungen Lichtempfindungen hervorgebracht werden, ist schon seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts bekannt (Le Roy, Mémoires de Mathématique et de Physique de l'Acad. de France, année 1755, p. 86 in Histoire de l'Academie royale des Sciences 1761); dass während der Wirkung eines constanten Stromes Lichtempfindung auftritt, scheint zuerst Ritter (Beiträge zur näheren Kenntniss des Galvanismus 1801 und Gilbert's Annalen der Physik 1801, Bd. 7, p. 448—1805, Bd. 19, p. 6) gefunden zu haben. Stromesschwankungen enthält man bei der Entladung von Kleist'schen oder Leydener Flaschen: die dabei auftretenden Lichtblitze sind mit sehr unangenehmen (vielleicht auch gefährlichen) Erschütterungen verbunden, und daher diese Methode nicht zu empfehlen. Sehr viel zweckmässiger ist es,

die Schwankungen galvanischer Ströme zu benutzen: nach längerem Aufenthalte im Finstern genügt bei mir ein einfaches Plattenpaar zur Hervorbringung eines Lichtblitzes — deutlicher sind die Lichterscheinungen bei Benutzung einer galvanischen Säule. HELMHOLTZ (Physiol. Optik p. 204) wendet sehr zweckmässig eine Säule von 12 Daniell'schen Elementen an, welche lange genug constant bleibt, und leitet zur Vermeidung störender Nebenwirkungen den Strom durch mit Salzlösung getränkte Pappstücke in den Körper.

Bei Schliessung und Oeffnung der Kette treten Lichtblitze auf, und zwar finden HELMHOLTZ und ich (Physiol. der Netzhaut p. 345) den Oeffnungsblitz stärker bei absteigendem Strome, schwächer bei aufsteigendem Strome, als den Schliessungsblitz.

Während der Strom geschlossen ist, erfährt die Lichtempfindung eine Veränderung: bei aufsteigendem Strome erscheint im Finstern das Gesichtsfeld in hellerem, violettem oder bläulichem Lichte, besonders hell in der Gegend des gelben Fleckes — bei absteigendem Strome dunkler und grünlich oder gelblich tingirt; kurze Zeit nach der Unterbrechung des Stromes tritt die entgegengesetzte Veränderung, eine Umkehr der Empfindung ein. Die Eintrittsstellen des Sehnerven erschienen PURKINJE (Beobachtungen I. p. 51 und II. p. 36) und HELMHOLTZ (Physiol. Optik p. 204) als dunkle Scheiben bei aufsteigendem Strome, mir als gelbe helle Ringe mit dunklem Kerne, PURKINJE und mir bei absteigendem Strome als hellere, schwach violette Scheiben. Bewegt man die Augen, während der Sehnerv von dem auf- oder absteigenden Strome durchflossen wird, so erscheint eine grosse Helligkeit im ganzen Gesichtsfelde, besonders nach der Peripherie hin. Viele der Erscheinungen sind abgebildet bei PURKINJE, Beobachtungen II. Figur 4—22. RITTER (Gilbert's Annalen VII. p. 469) und PURKINJE (II. p. 41) haben schon beobachtet, dass äussere Objecte bei aufsteigendem Strome undeutlicher, bei absteigendem Strome deutlicher erscheinen, was PURKINJE dahin erklärt, dass die Verminderung des deutlichen Sehens von einer Verdeckung durch das vermehrte Eigenlicht der Netzhaut herrühre. Diese Annahme wird auch durch die Untersuchungen von SCHLIEPHAKE (Pflüger's Archiv 1874, VIII. p. 570) bestätigt. SCHELSKE (Archiv f. Ophthalm. IX. 3, 1863, p. 39) fand, dass Objecte, welche während des aufsteigenden Stromes beobachtet werden, in mehr bläulicher, während des absteigenden Stromes in röthlichgelber Farbe erscheinen; so erschien z. B. ein Orange im aufsteigenden Strom ebenso, wie eine Mischung von 331 Orange und 29 Blau im absteigenden Strome.

§ 50. Verschiedene subjective Lichterscheinungen. — Wir erwähnen hier noch einige Erscheinungen, welche eben so wenig wie die in § 48 und 49 besprochenen als auf anatomischen Verhältnissen oder auf bestimmten Reizbarkeitsveränderungen beruhende Phänomene gedeutet werden können, und denen daher noch keine bestimmte Stelle angewiesen werden kann. Besonders viele derartige Erscheinungen hat PURKINJE (Beobachtungen I. und II.) beobachtet und beschrieben, doch ist von vielen derselben bis jetzt noch nicht festgestellt, ob dieselben auf individuellen Eigenschaften von PURKINJE's Augen beruht haben, oder ob sie allgemeine Geltung haben.

1) Purkinje's elliptische Lichtstreifen (II. p. 74, Figur 23—25) sind beim Ansehen eines glimmenden Schwammes im Finstern beobachtet worden,

wenn das Bild desselben nach innen von dem fixirten Punkte lag, als zwei von dem Umfange des leuchtenden Bildes ausgehende und quer nach aussen verlaufende Hörner, mit ihrer Convexität nach oben und unten, so dass sie eine Ellipse zwischen dem leuchtenden Objecte und der Eintrittsstelle des Sehnerven bilden. Sie sind später von Czermak (Wiener Akademie-Berichte Bd. 43, 1861, p. 163), von van Willigen (Poggendorff's Annalen 1857, Bd. 102, p. 147), von Heinrich Müller (Würzburger Verhandlungen 1859, Bd. IX, p. XXX) und von Exner (Pflüger's Archiv I. 1868, p. 392) beobachtet worden unter ähnlichen Bedingungen. Die Streifen zeigen Verschiebungen, wenn die Lichtquelle bewegt wird.

2) Purkinje's Kreuzspinnengewebefigur (II. p. 86, Figur 28—32) scheint bis jetzt nur von Purkinje beobachtet worden zu sein und zwar beim Erwachen, wenn die noch geschlossenen Augen von der Sonne beschienen wurden.

3) Eine Reihe von verschiedenen Erscheinungen schliesst sich an Purkinje's Lichtschattenfigur (I. p. 10, Figur 1—4), Bilder, welche gesehen werden bei abwechselnder Beleuchtung und Beschattung der Augen, wenn man z. B. die geschlossenen Augen gegen die Sonne oder den hellen Himmel wendet und die ausgespreizten Finger vor denselben rasch hin und her bewegt (Purkinje), oder durch die Löcher oder Spalten einer rotirenden Scheibe auf den gleichmässig umwölkten Himmel blickt (Czermak). Als primäre Erscheinung betrachtet Purkinje hierbei eine schachbrettartige Würfelung des ganzen Gesichtsfeldes, welche Czermak (Wiener Akademie-Berichte Bd. 41, 1860, p. 644) als entoptisches vergrössertes Bild der Zapfenschicht zu deuten geneigt ist (cf. Exner in Pflüger's Archiv III. 1870, p. 233) — als secundäre Erscheinungen besondere Gestalten, welche er als Schneckenrechteck, Achtstrahl u. s. w. bezeichnet.

4) Helle, unregelmässig aufblitzende oder in regelmässigen Bahnen sich bewegende Punkte sind beim Sehen auf gleichmässig helle Flächen unter verschiedenen Umständen von vielen Beobachtern gesehen worden, ohne dass sich angeben lässt, wie weit hierbei etwa entoptisch erscheinende Blutkörperchen im Spiele sind. (cf. Purkinje, I. p. 63 u. 127 — Joh. Müller, Handbuch der Physiologie II. 1840, p. 390 — Helmholtz, Physiol. Optik p. 424.)

5) Der Maxwell'sche Ring, wahrscheinlich ein Bild des gelben Fleckes (Maxwell, Edinburgh Journal IV. 1856, p. 337 und Helmholtz, Physiol. Optik p. 420), erscheint als ein matt begrenzter Hof um die *Fovea centralis*, wenn man mit ausgeruhtem Auge auf eine graue, noch besser auf eine blaue gleichmässige Fläche blickt, z. B. auf den weissen Himmel durch ein blaues Glas sieht. Er tritt als ein dunklerer Hof um die hellere Netzhautgrube herum auf, wenn man auf eine blaue Fläche sieht und die gespreizten Finger vor den Augen bewegt. (Exner, Pflüger's Archiv I. 1868, p. 376 und Figur 1, Tafel VIII.)

6) Die Haidinger'schen Polarisationsbüschel (Poggendorff's Ann. 1844, Bd. 63, p. 29, Bd. 67, p. 435, Bd. 68, p. 73 und 305, Bd. 85, p. 350, Bd. 93, p. 318 — Helmholtz, Phys. Optik p. 421, Tafel V. Figur 3) erscheinen, wenn man durch ein Nicol'sches Prisma nach einem weissen Papierblatt oder nach dem weissen Himmel blickt, auf kurze Zeit als zwei in der Richtung der Polarisationsebene gelegene, mit ihren Spitzen zusammenstossende dunklere und gelbliche Büschel — rechtwinklig zu ihnen und zwischen ihnen bemerkt man zwei hellere, complementär gefärbte Büschel. Die Büschel schwinden bald wieder,

doch kann man sie beim Drehen des Nicol'schen Prismas, mit welchem die Büschel sich gleichfalls drehen, eine Zeit lang beobachten. Die Ausdehnung der Polarisationsbüschel entspricht etwa dem gelben Flecke.

7) Der Loewe'sche Ring (Haidinger in Poggendorff's Annalen Bd. 70, 1847, p. 403, Bd. 88, 1852, p. 451 — Helmholtz, Physiol. Optik p. 419 — Exner in Pflüger's Archiv I. 1868, p. 376, Tafel VIII. Figur 1) wurde von Loewe gesehen, als er durch eine Auflösung von Chromchlorid auf eine helle Fläche blickte, und erschien als ein heller, violetter Ring, welcher grösser ist als der Maxwell'sche Ring. Helmholtz und Exner sehen ihn als rhombischen Hof, welcher den Maxwell'schen Ring umgiebt. Der Loewe'sche Ring erscheint auch im rein blauen oder mit vielem Blau gemischten Lichte.

8) Die Exner'schen Farbenfiguren (Pflüger's Archiv I. 1868, p. 382, Tafel VIII. Figur 2—6) erscheinen, wenn homogenes rothes, grünes und blaues Licht mit Unterbrechungen in das Auge fällt: die rothe Farbenfigur erscheint Exner als eine medusenartig verzweigte Zeichnung, deren Centrum in der *Macula lutea* liegt — die grüne Farbenfigur besteht aus einer Menge kleiner schwarzer Punkte, welche in gleichmässigen Abständen das grüne Feld bedecken — endlich die blaue Farbenfigur aus dunkelblauen, grösseren, weniger scharfbegrenzten und weniger regelmässig angeordneten Punkten.

III. Wahrnehmung des Raumes.

§ 51. Verhältniss der Empfindung zur Wahrnehmung. — Sprachlich unterscheiden wir Empfindung und Wahrnehmung so, dass wir Empfindungen als Vorgänge, welche lediglich im Subjecte stattfinden und auf dasselbe bezogen werden, ansehen — Wahrnehmungen dagegen als Vorgänge, welche ausser uns stattfinden und eine Beziehung zwischen uns und dem Objecte bedeuten. Die Empfindung: warm, hell, schwer setzt kein Object voraus — die Wahrnehmung des Hellen, des Farbigen setzt voraus das Vorhandensein eines Hellen, welches die Ursache unserer Empfindung ist. Wir bleiben in vollkommener Harmonie mit der sprachlichen Unterscheidung, wenn wir sagen: die Empfindung ist der sinnliche Antheil einer Wahrnehmung; daraus folgt dann, dass zu einer Wahrnehmung noch andere Elemente erfordert werden. Zu einer Empfindung genügt das Ich — zu einer Wahrnehmung wird erfordert ausser dem Ich das Ausser-Mir. Das Correlat des Ausser-Mir ist nichts Sinnliches, sondern ein sogenanntes Psychisches, und zwar eine Function in ebenso bestimmter Form, wie es die Empfindung ist, nämlich eine Function in der Form der reinen Vorstellung des Raumes.

Die Wahrnehmung ist also, wenn wir es positiv ausdrücken, die Combination von Empfindung mit der Vorstellung des Raumes. Beide Functionen, so wie die Fähigkeit, beide Functionen zu einander in Beziehung zu setzen, sind uns auf der jetzigen Stufe der Entwickelung des Menschengeschlechts angeboren, und

nicht nur dem Menschen, sondern auch sehr vielen Thieren. Wenn ein eben ausgekrochenes Hühnchen nach dem Futter läuft, so setzt das nicht blos Empfindung, sondern auch Wahrnehmung voraus.

Durch die Function der Empfindung zu der Vorstellung des Raumes zu kommen, ist eben so unmöglich, wie durch dieselbe zu dem Begriffe der Causalität zu gelangen (Kant, Kritik der reinen Vernunft 1828, Erster Theil, erster Abschnitt p. 28), und wir sind in der That auch nur im Stande, die Combination von Empfindung und Vorstellung eintreten zu lassen, indem wir die Empfindung als rein subjective Function aufgeben und vollständig der Vorstellung unterordnen. Empfindungen, welche wir nicht den Vorstellungen unterordnen, z. B. der Schmerz, können nicht zu Wahrnehmungen werden — die Empfindungen des Lichtes ordnen wir aber so consequent unserer Vorstellung unter, dass sie uns gar nicht als Empfindungen zum Bewusstsein kommen, sondern als Eigenschaften räumlich vorgestellter Dinge.

Die Empfindung wird nun der Vorstellung des Raumes angepasst oder im Sinne der Vorstellung ausgelegt, und wir müssen festhalten, dass die Empfindungen alle qualitativ verschieden sind und an und für sich nie räumlich sein können. Wenn ich die Empfindung von Dunkel mit einem hellen Punkte habe, so ist diese qualitativ verschieden von der Empfindung: Dunkel mit zwei hellen Punkten, ohne dass in der Empfindung etwas von eins oder zwei enthalten ist oder gar von einem Verhältniss zwischen den beiden Punkten; denken wir uns die Empfindung: Dunkel mit 2 hellen Punkten, welche in der einen Empfindung dicht an einander, in der folgenden weiter von einander entfernt, in der dritten bis $n$ten noch weiter von einander entfernt sind, so erhalten wir n qualitativ verschiedene Empfindungen. Man ist zu dieser Auffassung wenig geneigt, weil man weiss, dass auf der Netzhaut einzelne Empfindungselemente sind, die man sich mit Nervenfasern bis zum Bewusstseinsorgan hin verbunden denkt — wo aber die Empfindung ausgelöst wird, da stellt man sich dann ein congruentes oder correspondirendes Bild der Netzhaut vor, von welchem die Empfindung abgelesen wird, oder eine Art Claviatur, welche die Oertlichkeit einer isolirten Empfindung angiebt. Damit ist indess nur das Problem weiter hinaus in unbekannte Regionen verschoben, aber nicht gelöst. Die obigen n-Empfindungen haben aber qualitativ eine Aehnlichkeit, und so, wie wir verschiedenes Grau qualitativ ähnlich empfinden, und diese Qualitäten als eine Reihe von quantitativ verschiedenen Helligkeiten auffassen, so fassen wir auch jene n-Empfindungen als eine zusammengehörige Reihe von Qualitäten auf, welche wir aus unbekannten Ursachen als räumlich different deuten.

Ohne hier auf die Frage nach der Realität des Objectiven einzugehen, wollen wir dasselbe der Einfachheit wegen congruent unsern Wahrnehmungen wenigstens in räumlicher Beziehung setzen. Wir werden uns dann zunächst eine Vorrichtung zu denken haben, durch die es möglich wird, etwa 3 helle Punkte im Dunkel anders zu empfinden, als einen hellen Punkt von der dreifachen Helligkeit im Dunkel. Ein Mensch mit Cataract wird diese Vorrichtung nicht haben, eben so wenig ein Mensch, bei welchem sämmtliche Stäbchen und Zapfen bis auf einen zerstört sind, eben so wenig aber auch ein Mensch, dessen sämmtliche Opticusfasern im Gehirn in einem Punkt oder in einer ganz gleichmässigen Masse endigten. Es sind also jedenfalls Vorrichtungen erforderlich, um objectiv Räum-

liches in qualitativ verschieden Empfindbares und als räumlich Auslegbares zu unserm Sensorium gelangen zu lassen, aber diese Vorrichtungen gestatten keinerlei Schluss auf die Qualität des Zur-Empfindung-Kommens. Unsere Empfindungen müssen daher behufs räumlicher Auslegung mit einem »Localzeichen« (s. Lotze, Medicinische Psychologie 1862, § 287, p. 328) versehen sein, um in die reine Vorstellung des Raumes eingetragen werden zu können. Ich will einen Vergleich brauchen: ein Alphabet ist für den civilisirten Menschen eine Reihe von qualitativ verschiedenen Lauten; jeder dieser Laute hat ohne allen inneren Grund seine bestimmte Stellung zu jedem andern Laute des Alphabets, und sobald ein Laut gehört wird, erregt er die Vorstellung seiner Beziehung, d. h. seiner Lage zu den übrigen Lautrepräsentanten oder Buchstaben: hier ist also der qualitative Unterschied zu einem räumlichen geworden. Auf gleiche Weise ist es denkbar, dass qualitativ verschieden Empfundenes in die Vorstellung des Raumes eingetragen wird und Reihen im Raume bildet.

Durch Eintragung der Empfindungen in die Vorstellung des Raumes wird dann eine Ausfüllung des vorgestellten Raumes gegeben — oder die reine Vorstellung des Raumes wird zu einer synthetischen Vorstellung. Den Raum stellen wir uns, als das einfachste, nach allen Richtungen hin ausgedehnt und continuirlich vor. Die Vorstellung der Continuität wird von uns so weit festgehalten, als die Empfindungen dieser Vorstellung nicht widersprechen — die Richtungen reduciren wir aber auf drei Dimensionen, eine Reduction, welche auch wieder unabhängig von Empfindungen ist und aus Verstandesthätigkeiten resultirt. (Kant, l. c. p. 31.)

Wenn von Seiten der Empfindung eine Einrichtung gegeben ist, um eine Combination der Empfindungen mit der Vorstellung des Raumes möglich zu machen, so ist anderseits eine Thätigkeit des Verstandes erforderlich, um eine Begrenzung der Empfindungen nach den Dimensionen des Raumes möglich zu machen. Diese Thätigkeit besteht in der Bildung oder Vorstellung allgemeiner (zunächst mathematischer) Formen: Punkt, Linie, Dreieck, Kreis u. s. w., auf welche die qualitativ oder potentiell räumlichen Empfindungen bezogen werden. Die Bildung jener allgemeinen Formen oder Schemata hat Kant (l. c. p. 131) Schematismus des reinen Verstandes genannt.

Wenn nun der Verstand Schemata in dem Raume bildet und wir auf diese unsere Empfindungen beziehen, so ist damit zugleich gesagt, dass wir die Empfindungen nicht in uns selbst verlegen, sondern sie auch in den Raum, d. h. nach aussen versetzen oder in den vorgestellten Raum projiciren müssen. Wenn also eine Lichtempfindung in unserm Sensorium zu Stande kommt, so wird sie in den Raum projicirt, und ist sie derart, dass sie auf ein Schema übertragen werden kann, so bildet sie mit diesem zusammen eine Anschauung. Indem wir unbewusst die Voraussetzung machen, dass der Empfindung eine Ursache, und zwar eine der Anschauung congruente Realität zu Grunde liegt, nennen wir sie eine Wahrnehmung.

Jede Form können wir uns zusammengesetzt denken aus einer Anzahl von materiellen Punkten und in der Empfindung, welche zu der Wahrnehmung einer Form führt, wird gleichfalls eine Anzahl von Punkten unterschieden werden können, welche die Form zusammensetzen. Die Menge der Punkte, welche einzeln empfunden werden können, wird massgebend sein für die Genauigkeit der

Wahrnehmung. Die eine Aufgabe wird also sein: die Fähigkeit der Unterscheidung von Punkten durch das Empfindungsorgan, die Empfindung des Raumes oder den Raumsinn zu untersuchen.

Die zweite Aufgabe wird sein, die Projection der Empfindungen in den Raum zu untersuchen, und wir haben dabei die von unserm Verstande construirten Dimensionen des Raumes zu Grunde zu legen.

Die Wahrnehmung wird aber noch durch ein drittes Moment beeinflusst, durch die Bewegung unserer Empfindungsorgane im Raume, und zwar die Veränderung des Ortes unserer Empfindungsorgane gegen einander. Wären wir und unsere Empfindungsorgane unbeweglich im Raume, so würde die Localisirung unserer Empfindungen verhältnissmässig einfach, aber allerdings auch ohne Interesse sein. Durch die Bewegung unserer Empfindungsorgane im Raume wird es aber nothwendig, dass ein Rapport besteht zwischen unsern Bewegungen und den in den Raum projicirten Empfindungen. Wir haben in der That die Fähigkeit, unsere Bewegungen im Raume zu bestimmen und zwar zu messen mit Hülfe unserer Empfindungsorgane, und indem wir einen beständigen Rapport zwischen Bewegungen und Empfindungen unterhalten, bleiben wir im Raume orientirt. Endlich finden auch noch Bewegungen statt, mittelst derer die in unserem Sensorium registrirten räumlichen Localzeichen gegen einander verschoben werden, die Augenbewegungen. Da auch diese Bewegungen bewusste und mit Empfindungen in Rapport stehende sind, so wird dadurch unsere Orientirung nicht nur nicht gestört, sondern wesentlich unterstützt und controlirt.

Es ergeben sich also folgende Aufgaben: 1) Untersuchung des Raumsinnes; 2) Untersuchung der Projection unserer Empfindungen; 3) Untersuchung der Augenbewegungen.

C. Der Raumsinn.

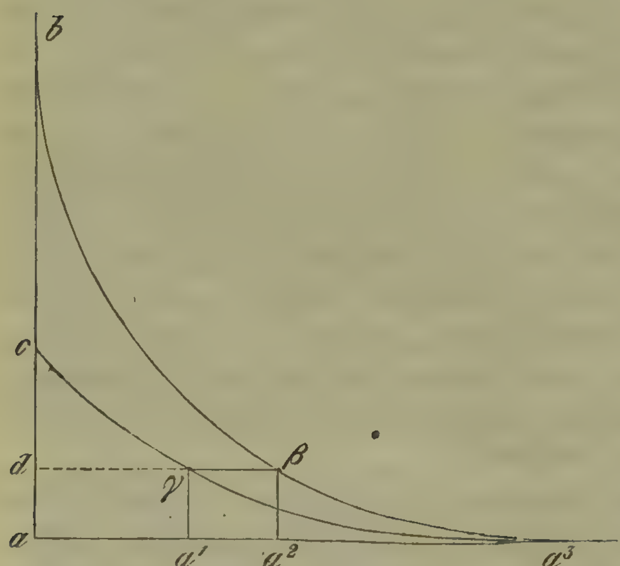
§ 52. Empfindung des Räumlichen. Wahrnehmung kleinster Punkte. — Ein Mechanismus, welcher die Wahrnehmbarkeit von Objecten im Raume, welche die verschiedenste Ausdehnung haben, für unser Empfindungsorgan vermitteln soll, muss aus einer Anzahl von Elementen oder Punkten bestehen, deren jeder einzelne eine Empfindung vermitteln kann. Die aus solchen isolirt empfindenden Punkten zusammengesetzte Fläche, die Netzhaut, ist unmittelbar hinter den brechenden Medien so angebracht, dass das Bild eines leuchtenden Punktes der Aussenwelt gleichfalls als ein Punkt auf sie fällt und eines ihrer Elemente in Erregung setzt, ohne die übrigen Elemente der Netzhaut zu erregen, oder wenigstens ohne sie in gleicher Weise zu erregen. Ein Punkt ist aber ein relativer Begriff, ein Element desgleichen, und es entsteht die Frage: 1) wie gross ist das kleinste Bild eines leuchtenden Punktes auf der Netzhaut? 2) ist dies Bild grösser oder kleiner als ein Element der Netzhaut? 3) sind die Zapfen die empfindenden Elemente der Netzhaut?

Die Beantwortung der ersten Frage, wie gross das kleinste Netzhautbild von einem leuchtenden wirklichen Punkte ist, hat mancherlei Schwierigkeiten. Wirkliche Punkte, welche leuchten und isolirt sind in ihrer Umgebung sind die Fixsterne, denn ihr scheinbarer Durchmesser ist auch bei 1000maliger Vergrösserung immer unverändert — aber ihr Bild auf der Netzhaut ist von verschiedener Grösse

und sie erscheinen in den besten Fernröhren als kleine Fläche und nach ihrer Helligkeit verschieden; die Helligkeit ist, wie wir sogleich sehen werden, massgebend für die Grösse des wahrnehmbaren Netzhautbildes, und die sogenannten Sterngrössen sind nur Sternhelligkeiten. Auch im Telescop erscheinen sehr helle Sterne grösser und nehmen an Grösse scheinbar ab, wenn sie lichtschwächer werden. (William Hershel, Philos. Transactions 1803, p. 224.) William Hershel u. A. haben die »*spurious discs*« der Fixsterne vielfach untersucht und sich bemüht, ihre Grösse zu bestimmen. Arago (Astronomie I. p. 364, Humboldt, Kosmos III. p. 67 und 113) schreibt den Sternen einen *diamètre sensible et factice* zu, welcher mit der Güte des Fernrohrs und mit der Stärke der Vergrösserung abnimmt, aber immer noch eine gewisse Grösse repräsentirt.

Bei der Beschaffenheit der brechenden Medien des Auges müssen wir annehmen, dass auch bei vollkommenster Accommodation die Vereinigung der Lichtstrahlen zu einem Punkte nicht eine vollkommene sein kann (s. § 18). Gleichwohl wird der Gang der Lichtstrahlen in den brechenden Medien derselbe sein für sehr helle, wie für sehr wenig leuchtende Sterne und mithin das Netzhautbild eines Sternes erster Grösse ebenso wie das eines Sternes fünfter Grösse. Dass trotzdem ein sehr heller Stern grösser zu sein scheint, als ein lichtschwächerer, hat Volkmann (Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik 1863 I. p. 38 und 39) in folgender Weise erklärt: wegen der Lichtzerstreuung in den Augenmedien wird das Netzhautbild einen Zerstreuungskreis bilden, in dessen Centrum die grösste Helligkeit, von dem Centrum ab aber eine Abnahme zur Peripherie hin stattfindet: von diesem Zerstreuungskreise wird aber nur derjenige (centrale) Theil wahrgenommen werden, welcher eine mehr der centralen als der peripherischen sich annähernde und überhaupt eine verhältnissmässig grosse Helligkeit hat. Ist also der leuchtende Punkt lichtstark, so wird die Ausdehnung, in welcher der Zerstreuungskreis wahrgenommen werden kann, eine grössere sein, als wenn der leuchtende Punkt lichtschwach ist. Volkmann unterscheidet daher die physikalische und die sensible, d. h. wahrnehmbare Grenze des Zerstreuungskreises.

Fig. 72.



Bedeutet in Figur 72 aa^3 den Radius eines Zerstreuungskreises, ab die Grösse der Helligkeit im Centrum desselben für einen Stern erster Grösse, ac die Grösse derselben für einen Stern dritter Grösse, und sei die allmälige Abnahme der Helligkeit nach der Peripherie hin durch die Curven $b\beta a^3$ bezw. $c\gamma a^3$ ausgedrückt, so wird, wenn ad eine Helligkeit bezeichnet, welche der Grenze der Wahrnehmbarkeit entspricht, die Grenze der Wahrnehmbarkeit oder die sensible Grenze für den lichtstarken Stern bei a^2, für den lichtschwachen Stern schon bei a^1 liegen, da $ad = a^1\gamma = a^2\beta$ ist. Allgemein können wir also sagen: je mehr ein Punkt

an Helligkeit gegen seine Umgebung contrastirt, um so grösser ist der wahrnehmbare Theil seines Netzhautbildes, und umgekehrt.

Die sensible Grenze VOLKMANN's, den *diamètre sensible* ARAGO's zu berechnen für eine gegebene Lichtintensität, sind wir aber nicht, oder nur auf einem Umwege mit gewisser Wahrscheinlichkeit im Stande. Wir werden nämlich für terrestrische Objecte von messbarer Helligkeit die Gesichtswinkel bestimmen müssen, unter denen die Objecte eben sichtbar werden — und dann weiter die Gesichtswinkel bestimmen, unter welchen Objecte wahrgenommen werden können, wenn der Contrast gegen ihre Umgebung oder die Helligkeitsdifferenz des Objectes gegen seine Umgebung vermindert wird, womit ja die Wahrnehmbarkeit des Zerstreuungskreises abnehmen muss.

Es liegen eine Anzahl Bestimmungen über kleinste Gesichtswinkel, unter denen Objecte eben noch sichtbar waren, vor: Für einen Gauss'schen Heliotropen, welcher Sonnenlicht reflectirte (bei 3 Zoll Durchmesser in 213000 Pariser Fuss sichtbar, HUMBOLDT, Kosmos III. p. 70) berechnet sich der Gesichtswinkel auf 0,43 Sekunden; für die Grenze der Sichtbarkeit eines weissen Quadrates auf schwarzem Grunde, direct von der Sonne beschienen, findet PLATEAU 12″, von diffusem Tageslicht beleuchtet 18″ (Poggendorff's Annalen Bd. 20, 1830, p. 328), HUECK für einen weissen Punkt auf schwarzem Felde 10″ (Müller's Archiv 1840, p. 86), AUBERT für ein weisses Quadrat auf schwarzem Papier im diffusen Tageslichte 18″ (Physiol. der Netzhaut p. 197). Noch grösser müssen die Gesichtswinkel sein für schwarze Objecte auf weissem Grunde: TOBIAS MAYER fand für runde Punkte, mit schwarzer Tusche auf sehr weisses Papier gemalt, 30″ bis 36″ (Commentarii Societatis Goettingensis ad annum 1754, p. 100), HUECK 30″ (der l. c. angegebene Werth 20″ muss ein Druckfehler sein), AUBERT 25″—29″.

In allen diesen Bestimmungen ist der Contrast des eben noch sichtbaren Objectes gegen seine Umgebung sehr bedeutend: ich habe nun Versuche über die Grenze der Sichtbarkeit bei Verminderung des Contrastes angestellt. Ich stellte ein weisses, bezw. ein schwarzes Quadrat von 10 Mm. Seite vor einer Maxwell'schen rotirenden Scheibe (s. § 25) auf, bei welcher eine schwarze Scheibe gegen eine weisse Scheibe verschoben und so eingestellt wird, dass n° Weiss und $360^{\circ}-n^{\circ}$ Schwarz ein Grau bilden, dessen Helligkeit beliebig verändert und gemessen werden kann. Das Quadrat wurde aus gegebenen Entfernungen beobachtet und auf die rotirende Scheibe als Hintergrund projicirt. Zur Verkleinerung des Gesichtswinkels benutzte ich das Volkmann'sche Makroscop, welches in § 53 beschrieben ist. Das in den Versuchen angewendete weisse Papier ist 57 Mal heller als das schwarze Papier (s. § 25). Das Nähere über die Anstellung der Versuche ist in meiner Physiologie der Netzhaut p. 200 angegeben.

Folgende Resultate habe ich an zwei hellen Tagen, von denen der erste heller war als der zweite, für die kleinsten Gesichtswinkel, unter denen die Objecte eben noch sichtbar waren, erhalten.

Tabelle XXII[a].

Grund dunkler als das Object.	Weisses Object.		Grund heller als das Object.	Schwarzes Object.	
	I. Tag.	II. Tag.		I. Tag.	II. Tag.
57 Mal	15″	18″	57 Mal	25″	29″
17 -	32″	34″	43 -	35″	33″
10 -	34″	37″	29 -	35″	37″
7 -	36″	39″	15 -	35″	37″
3,8 -	39″	44″	8 -	37″	38″
2 -	46″	50″	5,66 -	38″	42″
			3,3 -	39″	45″

Wir sehen also sowohl für das weisse wie für das schwarze Object eine Zunahme des Gesichtswinkels erforderlich werden, wenn der Contrast gegen die Umgebung abnimmt — indess wenn wir die sehr grossen und die sehr geringen Contraste ausschliessen, so ist bei einer Differenz der Helligkeit des Objectes zur Umgebung von 43 bis zu 7 (in Tabelle XXII[a]) die Grösse des Gesichtswinkels einem sehr geringen Wechsel unterworfen. In den Beobachtungen des I. Tages beträgt der Gesichtswinkel 32″ bis 37″, in denen des II. Tages 33″ bis 39″. — Bei den angegebenen Helligkeitsdifferenzen des Objectes gegen den Grund ist wohl anzunehmen, dass der wahrnehmbare Theil der Zerstreuungskreise nur sehr klein, vielleicht verschwindend klein gewesen ist, und das sensible Netzhautbild dem Gesichtswinkel der Objecte fast genau entsprochen hat. Setzen wir diesen Gesichtswinkel im Mittel = 35″, so würde bei einer Entfernung des hinteren Knotenpunktes von der Netzhaut = 15 Mm. sich eine Grösse des Netzhautbildes = 0,0025 Mm. oder 2,5μ ergeben, also eine Grösse, welche ungefähr dem Durchmesser eines Zapfens in der *Fovea centralis* entspricht. (cf. Volkmann, Physiologische Untersuchungen 1863, p. 79. — Max Schultze, Archiv für mikroscop. Anatomie II. p. 225. — H. Müller, Würzburger Naturwissenschaftliche Zeitschrift II. p. 218. — Schwalbe, dieses Handbuch I. 1, p. 433.)

Ich habe diese wahrscheinlich geringste Grösse des wahrnehmbaren Netzhautbildes als physiologischen Punkt bezeichnet (Physiologie der Netzhaut p. 203). — Smith hatte dieselbe »empfindlichen Punkt« genannt (Smith-Kästner, Lehrbegriff der Optik 1755, p. 29) — und damit ausdrücken wollen, man brauche sich die empfindende Fläche der Netzhaut aus nicht kleineren Punkten oder Flächen, einem nicht feineren Mosaik zusammengesetzt zu denken. — Wir werden in § 53 sehen, dass wir uns die wahrnehmbare Ausdehnung des Netzhautbildes von Fixsternen, welche mit blossem Auge sichtbar sind, grösser zu denken haben.

Ich muss indess noch bemerken, dass die Verhältnisse der Beleuchtung im diffusen Tageslicht bei diesen Versuchen nicht die möglichst günstigen waren, da das Object etwa 3 Meter von dem Fenster entfernt aufgestellt werden musste. Dass aber die Helligkeit der Beleuchtung bei diesen Bestimmungen von grossem Einflusse ist, ergiebt sich ausser dem in § 25 Angeführten auch noch aus Versuchen, welche in gleicher Weise, wie die obigen, aber mit absichtlicher Beschränkung des diffusen Tageslichtes angestellt wurden.

Tabelle XXII^b.

Grund dunkler als das Object.	Weisses Object.	Grund heller als das Object.	Schwarzes Object.
57 Mal	49″	57 Mal	30″
17 -	56″	43 -	34″
10 -	63″	29 -	36″
7 -	65″	15 -	39″
3,8 -	65″	8 -	52″

Der Gesichtswinkel für das schwarze Quadrat hat sich wenig geändert, der für dass weisse aber bedeutend zugenommen. Den Grund für diese auffallende Erscheinung glaube ich in Volkmann's Beobachtungen zu finden, wonach die Irradiation des Schwarz auf weissem Grunde geringer ist, als die des Weiss auf schwarzem Grunde, weil das Weiss wegen seiner grösseren Lichtstärke mehr von dem lichtarmen schwarzen Grunde überstrahlt (annectirt) als das Schwarz, welches vielmehr von der Umgebung überstrahlt wird. (cf. Volkmann's Physiologische Untersuchungen 1863, p. 21—27, und meine Physiologie der Netzhaut p. 206 und 217.)

Die oben in diesem Paragraph gestellten Fragen würden wir dahin beantworten: die kleinsten eben noch wahrnehmbaren Netzhautbilder sind etwa von der Grösse des Querschnittes eines Zapfens der *Fovea centralis*; die Zapfen können daher als die Elemente des die räumliche Wahrnehmung vermittelnden Mechanismus angesehen werden. Wir werden in § 53 diesen Satz noch weiter zu prüfen haben.

§ 53. Die Wahrnehmung distincter Punkte. (Sehschärfe.) — Von besonderer, sowohl physiologischer als praktischer Wichtigkeit ist das Vermögen, Punkte, welche sich in gewisser Entfernung von einander auf der Netzhaut abbilden, getrennt von einander oder distinct wahrzunehmen. Denn da wir uns alle Lineamente und Formen der Objecte aus (physiologischen) Punkten zusammengesetzt vorzustellen haben, so wird die Genauigkeit oder Schärfe der Formwahrnehmung beruhen auf der Fähigkeit, Punkte von einander zu unterscheiden, oder Punkte als räumlich getrennt zu empfinden. Wenn nun auch über die Sichtbarkeit von Doppelpunkten und Doppellinien eine sehr erhebliche Anzahl von Beobachtungen vorliegt, so stossen wir doch auf sehr grosse Schwierigkeiten, wenn es sich um die Ermittelung der Distanzen handelt, welche die Punkte oder Linien im Netzhautbilde haben müssen, um unterschieden werden zu können.

Bezüglich der Angaben über die Unterscheidbarkeit von Sternen muss ich die immer wieder angeführte Angabe von Hooke (Smith-Kästner, Lehrbegriff der Optik 1755, p. 29 und 502) als im höchsten Grade zweifelhaft ausschliessen, dass ein Mensch Sterne, welche 60″ von einander entfernt sind, als zwei erkennen könne. Die Jupiterstrabanten werden nur ausnahmsweise mit blossem Auge erkannt; ein Breslauer Schuhmacher Schön erkannte sie, als der erste Trabant 2 Minuten, der dritte über 4 Minuten von dem Planeten entfernt war (Humboldt, Kosmos III. p. 112) — ε und 5 Lyrae, welche 3′ 27″ von einander entfernt sind, stehen an der Grenze der Unterscheidbarkeit. Humboldt (l. c. p. 66) giebt an:

»Galle glaubt bei sehr heiterer Luft ε und 5 Lyrae mit blossem Auge zu sondern«, und auch ich habe unter Controle des Herrn Professor Galle diese beiden Sterne gesondert erkannt und die Richtung ihrer Verbindungslinie richtig angegeben, ohne vorher etwas von ihrer Lage zu wissen. Man vergleiche übrigens Struve, Mensurae micrometricae 1837, p. 153, — Mädler, Wunderbau des Weltalls 1861, p. 518, — Harting, Das Mikroscop 1866, I. p. 68. — Während beim Sehen durch Telescope wenig geändert zu werden scheint, macht Harting nach seinen Untersuchungen die merkwürdige Angabe, dass beim Sehen durch die besten Mikroscope ein Verlust an Unterscheidbarkeit von fast 80% stattfände. (Poggendorff's Annalen 1861, Bd. 114, p. 91, — Harting, Das Mikroscop 1866, I. p. 72 und 336—341.)

Von terrestrischen Objecten sah Struve (Mensurae micrometricae p. 149 bis 153) weisse Scheiben auf schwarzem Grunde bei 51″ Distanz, Hueck (Müller's Archiv 1840, p. 87) schwarze Punkte bei 1′ 4″ Distanz; ich weisse Quadrate bei 55″, schwarze Quadrate bei 1′ 8″. Indess habe ich gefunden, dass derartige Bestimmungen keinen absoluten Werth haben, sondern zunächst abhängig sind von der Deutlichkeit, mit der die Objecte selbst wahrgenommen werden. Die Deutlichkeit der Objecte aber ist abhängig 1) von dem Gesichtswinkel, unter welchem sie gesehen werden, 2) von dem Contraste gegen die Umgebung, 3) von der absoluten Helligkeit.

Die folgende Tabelle XXIII. giebt eine Uebersicht über den Einfluss dieser Momente: im ersten Stabe sind die Gesichtswinkel für die Seite der weissen Quadrate verzeichnet, in den übrigen Stäben die Gesichtswinkel für die Distanzen, welche eben noch wahrgenommen werden konnten, und zwar unter I. nach Beobachtung an einem ungewöhnlich hellen Tage, unter II. an einem weniger hellen Tage — beide auf einem 57 Mal dunkleren Grunde, unter III. an demselben weniger hellen Tage an weissen Quadraten auf grauem Grunde, welcher ungefähr 2,5 Mal dunkler war, als das Weiss oder 23 Mal heller als der schwarze Grund (beim Vergleich mit der rotirenden Scheibe war das graue Papier = 140° Weiss + 215° Schwarz + 5° Roth).

Tabelle XXIII.

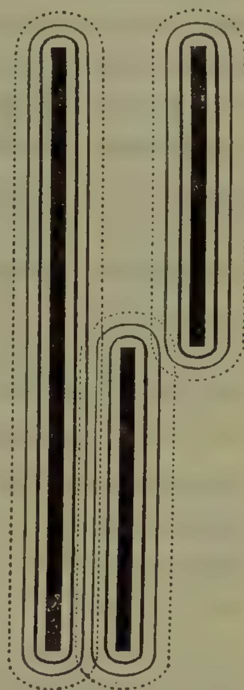
Gesichtswinkel der Quadrate.	Gesichtswinkel für die Distanzen.		
	I. sehr heller Tag.	II. weniger heller Tag.	III. weniger heller Tag.
	Weiss auf Schwarz.	Weiss auf Schwarz.	Weiss auf Grau.
114″	29″	28″	34″
91″	46″	60″	68″
76″	60″	98″	92″
65″	72″	145″	140″
57″	97″	160″	210″
51″	107″	204″	270″
46″	110″	230″	—

Schwarze Quadrate auf weissem oder auf grauem Grunde erforderten im Ganzen noch grössere Distanzen, um unterschieden werden zu können.

Die einfachen Angaben, in welcher Entfernung von einander Punkte auf der Netzhaut abgebildet werden müssen, um unterschieden werden zu können, sind nach diesen Versuchen von geringem Werthe. Die Bestimmungen bei Anwendung von Liniendistanzen, Gittern und dergleichen haben auch sehr verschiedene Werthe für die kleinsten wahrnehmbaren Distanzen ergeben. (HELMHOLTZ, Physiologische Optik p. 218.) Ich führe diese Werthe hier nicht auf, da die ganze Frage seit VOLKMANN's Untersuchungen (Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik 1863 und 1864) sich wesentlich anders gestaltet hat.

VOLKMANN geht bei seinen Untersuchungen von folgendem Gedanken aus: die Objecte, deren kleinste wahrnehmbare Distanz man bestimmt, werden durch die Lichtzerstreuung (Irradiation) verbreitert, folglich die Distanz zwischen ihnen im Netzhautbilde verkleinert, etwa wie in Figur 73. Will man also die kleinste wahrnehmbare Distanz der Netzhautbilder bestimmen, so muss man erst die Grösse der Irradiation des Objectes feststellen und diese von der gefundenen Distanz der Objecte in Abzug bringen. Die Grösse der Irradiation von Linien kann man dadurch bestimmen, dass man die scheinbare Distanz zwischen den beiden Linien genau der scheinbaren Breite der Linien gleich zu machen sucht: die Grösse, um welche die wirkliche Breite der Linien von der im Versuche erhaltenen Breite der Distanz übertroffen wird, ist die Irradiationsgrösse. VOLKMANN setzt die wirkliche Breite der Linien $= B$, die im Versuche dieser Breite scheinbar gleichgemachte Distanz $= D$; D wird immer grösser gefunden als B; die Differenz setzt VOLKMANN $= Z$; es ist dann $B + Z = D - Z$,

Fig. 73.



woraus $$Z = \frac{D - B}{2}.$$

B verbreitert sich je nach beiden Seiten um Z, nach innen um $^1/_2 Z$; entsprechend wird D von beiden Seiten um $^1/_2 Z$, also zusammen auch um Z verschmälert: Z ist also die Irradiationsgrösse. In einem zweiten Versuche bestimmt VOLKMANN unter sonst gleichen Umständen die kleinste Distanz, welche zwischen den beiden Linien noch eben wahrgenommen werden kann, sie sei $= D'$. Unter der Annahme, dass in dem zweiten Versuche die Verbreiterung B der Linie dieselbe geblieben ist, entspricht die Grösse D' nicht der Distanz der Netzhautbilder, sondern offenbar der Grösse $D' - Z$, d. h. der Distanz der Netzhautbilder mit Ausschluss des Irradiationseinflusses; $D' - Z$ sei $= D''$. Bezeichnen wir die Netzhautbilder entsprechend mit β, δ, δ', δ'' und ζ, so ist

$$\zeta = \frac{\delta - \beta}{2} \text{ und } \delta' - \zeta = \delta''.$$

VOLKMANN sagt daher mit Recht: »Alle bisher gemachten Angaben über die Grösse der kleinsten noch wahrnehmbaren Netzhautbilder sind sämmtlich zu gross, weil die Rechnungen die Irradiation unberücksichtigt lassen.«

VOLKMANN hat zu seinen Versuchen theils dünne Silberdrähte von 0,05 Mm. Dicke, welche mittelst eines Schraubenmikrometers verstellbar sind und entweder bei auffallendem Lichte als helle Linien auf dunkeln Grund projicirt oder

als dunkle Linien auf den hellen Himmel projicirt werden, — theils weisse oder schwarze Papierstreifen auf schwarzem oder weissem Grunde von 1 Mm. Breite benutzt. Ich habe mich bei der Wiederholung der Volkmann'schen Versuche verhältnissmässig grosser Objecte, Papierstreifen von 2 Mm. Breite und 50 Mm. Länge bedient, welche gegen einander verschoben und deren wirkliche Distanz dann leicht sehr genau gemessen werden kann. Volkmann hat sich in einigen seiner Versuchsreihen, ich habe mich durchgängig einer von Volkmann angegebenen Vorrichtung, des schon oben erwähnten Makroscops bedient. Dasselbe besteht aus einer Glaslinse von etwa 15 Mm. bis 60 Mm. Focus (Sammellinsen der Mikroscopoculare sind dazu sehr geeignet) in einer innen geschwärzten Röhre, welche verlängert und verkürzt werden kann und auf einem Stativ befestigt ist. Von dem Object O wird dann ein Luftbild o in einer Entfernung hinter der Linse L entworfen, welche durch den Focus der Linse und die Entfernung des Objectes von der Linse bestimmt ist. In a befindet sich das Auge des Beobachters und sieht das Luftbild aus der willkürlich veränderlichen Sehweite S. Die Grösse des Bildes o findet man, wenn E die Entfernung des Objectes O von der Linse, e die Entfernung des Luftbildes von der Linse bedeutet $o = \frac{e \cdot O}{E}$, der Gesichtswinkel für o ergiebt sich aus $\tang x = \frac{o}{S}$; ist E in den Versuchen sehr viel grösser, als die Brennweite der Linse, so kann man die Brennweite ohne merklichen Fehler für e substituiren, so dass $\tang x = \frac{O \cdot F}{E \cdot S}$.

Meine Versuchsresultate stimmen sehr gut mit denen von Volkmann; ich führe eine meiner Versuchsreihen in der folgenden Tabelle an, indem ich die Gesichtswinkel entsprechend den Netzhautbildern β, δ, δ' u. s. w. mit b, d, d', d'', z bezeichne.

Tabelle XXIV.

Weisse Linien auf Schwarz.					Schwarze Linien auf Weiss.			
b	d'	d	z	$d'-z$	d'	d	z	$d'-z$
45″	67″	146″	50″	17″	45″	112″	34″	11″
36	72	153	58	14	48	108	36	12
30	67	150	60	7	60	105	38	22
26	72	143	59	13	64	104	39	25
22,5	75	140	59	16	72	106	42	30
20	80	140	60	20	80	110	45	35
18	81	148	65	16	95	108	45	40
15	80	148	66	14				
13	88	146	66	22				
11,5	96	(165)	77	19				
10	100	153	72	28				

b = Breite der Linien, d = die der Breite b gleichgemachte Distanz, d' kleinste Distanz, $z = \frac{d - b}{2}$ = Irradiationsgrösse $d'' = d' - z$. Breite der Linien = 2 Mm., Länge = 50 Mm.

Aus diesen, wie aus Volkmann's und meinen übrigen Zahlen ergiebt sich das auffallende Resultat, dass d sich fast gar nicht ändert, obgleich b immerfort

abnimmt, d. h. das wahrnehmbare Netzhautbild der Linien erscheint unabhängig von dem Gesichtswinkel derselben immer gleich breit, nämlich bei den weissen Linien im Mittel etwa 145″, bei den schwarzen Linien etwa 108″ breit. Da b immer mehr abnimmt, so muss z entsprechend zunehmen, was Volkmann zu dem Satze veranlasst: »die Grösse der Irradiation und des Netzhautbildes verändern sich in entgegengesetzter Richtung.«

Wenn nun eine solche progressive Veränderung der Irradiation in Bezug auf die Breite der Linien sich zeigt, so liegt der Schluss nahe, dass die Verhältnisse der Irradiation auch andere sein werden, je nachdem die Distanz der Linien grösser oder kleiner ist, was ja bei den Bestimmungen von d und d' statt hat. Wenn aber die Irradiationsbedingungen andere sind bei der Beobachtung von d als bei der von d', so darf das bei der Beobachtung von d ermittelte z nicht auf die d'-Beobachtungen übertragen werden. Damit werden aber die Schlüsse Volkmann's auf die wirkliche Grösse der Netzhautbilder illusorisch. Dass diese für $d' - z = d''$ gewonnenen Zahlen nicht richtig sind, wird schon aus den sehr grossen Schwankungen, welche sowohl Volkmann als ich (s. Tabelle XXIV. die $d' - z$-Werthe) gefunden haben, ersichtlich. Denn wenn die berechneten Grössen statt der zu erwartenden Gleichheit Schwankungen um das 3- und 4fache zeigen, ja sogar in einzelnen Versuchen z grösser als d' gefunden und damit das wirkliche Netzhautbild d'' negativ wird, so muss man schliessen, dass ein nicht in Rechnung gebrachtes Moment mit im Spiele sei.

Dieses Moment liegt in den durch die Irradiation selbst hervorgebrachten Contrastverhältnissen oder Helligkeitsdifferenzen. Ich habe diese Verhältnisse in meiner Physiologie der Netzhaut p. 216—225 erörtert, meistens auf Grund von Beobachtungen über Irradiation, welche wir Volkmann verdanken. Die wesentlichen, hierbei in Betracht kommenden Umstände glaube ich darin zu finden, 1) dass von der Irradiationszone der Objecte mehr oder weniger dem Zwischenraume hinzugefügt (annectirt, Volkmann) wird, je nachdem die Helligkeit einer Irradiationszone mehr der Helligkeit des Objectes oder mehr der Helligkeit des Zwischenraumes gleicht; 2) dass bei verminderter Helligkeitsdifferenz zwischen Object und Grund der Gesichtswinkel für das Object sowohl, wie für den Zwischenraum der Objecte grösser werden muss, wenn noch eine Wahrnehmung des Objectes, bezw. des Zwischenraumes möglich sein soll; darauf beruht die Zunahme der d'-Werthe bei Abnahme von b.

Endlich finde ich in Uebereinstimmung mit dem Gleichbleiben der d-Werthe, dass schwarze Linien von 1,5 Mm., 1 Mm., 0,5 Mm., 0,25 Mm. Breite und etwa 30 Mm. Länge auf weissem Grunde in einer Entfernung von 3—4 Meter sämmtlich gleich breit, aber von sehr verschiedener Helligkeit erscheinen und muss daraus schliessen, dass die bei Volkmann (Physiol. Untersuchungen 1863, p. 95—98) angeführten Unterscheidungen von 1 und 1,1 Mm. breiten Linien bei makroscopischer Verkleinerung nicht auf Wahrnehmung der verschiedenen Breiten, sondern auf Wahrnehmung verschiedener Helligkeiten der Zerstreuungsbilder beruhen.

Wenn also einerseits Volkmann's Satz, dass die bisher gefundenen Distanzen der Netzhautbilder wegen Vernachlässigung der Irradiation zu gross angenommen worden sind, gewiss richtig ist, so muss ich anderseits auch behaupten, dass aus

Volkmann's und meinen Beobachtungen eben so wenig auf die Grösse der kleinsten wahrnehmbaren Netzhautdistanzen geschlossen werden kann, dass namentlich aus denselben nicht hervorgeht, dass die empfindenden Elemente der Netzhaut beträchtlich kleiner sein müssen, als die Zapfen der *Fovea centralis*.

Eine in § 103 meiner Physiologie der Netzhaut angestellte Berechnung der Irradiationsgrösse, welche von der Betrachtung ausgeht, dass 3 distincte Empfindungen stattfinden auf einem Raume, welcher bei Berücksichtigung der Irradiation gemessen wird durch $d' + 2b + z$, so dass die Grösse für den zu einer distincten Empfindung genügenden Raum sich berechnen würde $= \frac{d' + 2b + z}{3}$ oder da $z = \frac{d-b}{2}$ ist, $= \frac{d'}{3} + \frac{b}{2} + \frac{d}{6}$, ergiebt für die kleinsten Netzhautbilder meiner Beobachtungen 52″ bis 68″, nämlich

für die schwarzen Linien auf weissem Grunde	52″	bis	59″
- - weissen - - schwarzem -	59″	-	68″
- - grauen - - schwarzem -	64″	-	68″

Die von Volkmann an sich selbst beobachteten Werthe ergeben 67″, die an E. Volkmann aber nur 33″. — Fehlerfrei ist diese Berechnung indess auch nicht, und die erhaltenen Werthe wohl etwas zu gross.

Helmholtz (Physiol. Optik p. 841) erwähnt Versuche von Dr. Hirschmann mit Systemen paralleler Drähte (wahrscheinlich in Helmholtz' Institut angestellt, aber nicht publicirt), welcher »ebenfalls bis zu Werthen von 50 Sekunden Gesichtswinkel gekommen sei«.

Wir sind demnach nicht im Stande, genauere Angaben über die kleinsten Distanzen der Netzhautbilder zu machen, welche zur distincten Wahrnehmung erfordert werden. Für die Frage, ob die Zapfen als die empfindenden Elemente der Netzhaut angesehen werden können, hat indess diese Bestimmung sehr an Interesse verloren, seitdem Hensen (Virchow's Archiv für pathologische Anatomie 1865, Bd. 34, p. 401 und 1867, Bd. 39, p. 475) die Hypothese aufgestellt und begründet hat, dass nicht in den Zapfenkörpern, sondern in den Zapfenstäbchen oder Zapfenspitzen die Gesichtsempfindungen angeregt werden. Die Zapfenspitzen messen aber nach Max Schultze höchstens 0,0006 Mm. oder 0,6 μ, was einem Gesichtswinkel von etwa 10 Sekunden entsprechen würde. (Archiv f. mikroscopische Anatomie 1866, II. p. 231).

Da nun die Zapfenspitzen nicht unmittelbar an einander grenzen, sondern Lücken zwischen sich lassen (s. Schultze, l. c. Figur 1 auf Tafel XII.), so hat Hensen zur Stützung seiner von Volkmann (Dubois und Reichert's Archiv 1866, p. 649) angegriffenen Hypothese weiter den Nachweis geführt (l. c. Bd. 39, p. 475), »dass das Gesichtsfeld in der *Fovea centralis* nachweisbar lückenhaft ist, dass wir aber die beim Sehen feinster Punktreihen vorhandenen Lücken wirklich zu Linien ergänzen.« — Aus dieser Lückenhaftigkeit der *Fovea centralis* erklärt Hensen auch die in § 27 besprochene Wahrnehmung lichtschwacher Sterne mittelst indirecten Sehens. Dass wir nur unter besonderen Umständen diese Lücken bemerken können, für gewöhnlich aber übersehen, würde sich genügend aus den stets vorhandenen unwillkürlichen kleinen Verschiebungen des Auges erklären.

Theils auf die Lücken, theils auf die eigenthümliche Anordnung der Zapfenspitzen führt nun Hensen eine schon von Purkinje gemachte Beobachtung, die »Verwandlung paralleler gerader Linien in wellenförmige« (Purkinje, Beobachtungen I. p. 122) zurück. Betrachtet man nämlich ein Gitter von 10 oder 12 schwarzen Parallellinien auf weissem Grunde, so dass also weisse und schwarze Linien von etwa 0,5 Mm. Breite abwechseln aus 1 bis 1,5 Meter Entfernung, oder noch besser, blickt man nach Hensen's Angabe durch parallele Liniensysteme, welche auf schwarz gefirnisstem Glase in 0,7 Mm. entfernten Zwischenräumen in einer Breite von etwa 0,04 Mm. gezogen sind aus etwa 0,5 Meter Entfernung, auf den hellen Himmel, so werden die Linien sehr leicht wellig und erscheinen bei feineren Zwischenräumen sogar als Schräglinien. (cf. Hensen 1867, l. c. Fig. 1 und Helmholtz, Physiol. Optik p. 207, Fig. 217.)

Ueber die in der ophthalmologischen Praxis gebräuchlichen Objecte und Methoden zur Bestimmung der individuellen Sehschärfe haben Snellen und Landolt in diesem Handbuche III. 1, p. 1—19, Cap. Eidoptometrie, schon berichtet.

§ 54. Wahrnehmung distincter Punkte beim indirecten Sehen. — Die Versuche, welche wir im vorigen Paragraph anführten, werden so angestellt, dass das Object möglichst scharf fixirt wird, dass also das Netzhautbild in die *Fovea centralis* fällt. Wenn das Netzhautbild beim indirecten Sehen auf andere Theile der Netzhaut, welche mehr peripherisch nach dem Aequator hin gelegen sind, fällt, so wird es im Ganzen um so weniger deutlich wahrgenommen, je weiter es von der *Fovea centralis* entfernt ist. Gleichwohl ist, wie schon Purkinje (Beobachtungen II. p. 28) nachgewiesen hat, das indirecte Sehen von grosser Wichtigkeit für unsere Orientirung im Raume: verdeckt man seine Augen bis auf ein kleines Loch im Centrum vollständig, so ist man nach einigen Bewegungen bald nicht mehr im Stande, sich in seinem eigenen Zimmer zurechtzufinden. Man bemerkt, wenn man darauf Acht giebt, auch sehr bald beim Gehen, Tanzen u. s. w., wie man sehr viele Objecte überhaupt nur indirect sieht, und Kranke, welche an grösseren Beschränkungen des Gesichtsfeldes von der Peripherie her leiden, gehen auf der Strasse sehr unsicher und stolpern und fallen leicht.

Dass die Gesichtsobjecte beim indirecten Sehen viel undeutlicher erscheinen, als wenn man sie direct sieht, oder sie fixirt, hat seinen Grund nicht in den Brechungsverhältnissen der Augenmedien, denn die Objecte erscheinen keineswegs mit Zerstreuungskreisen, sondern in ganz anderer Weise undeutlich: zwei schwarze Punkte von 1 Mm. Durchmesser und 10 Mm. Entfernung von einander erscheinen keineswegs immer matter und grauer, je weiter man sie von dem fixirten Punkte nach der Peripherie hin entfernt, sondern sie bleiben vollkommen schwarz, aber man kann nicht mehr sagen, ob man einen oder zwei Punkte sieht. Es folgt daraus, dass die Ursache des unvollkommenen Wahrnehmens beim indirecten Sehen in der Netzhaut liegen muss. Siehe meine Physiologie der Netzhaut p. 249. Dies wird insbesondere bestätigt durch die Untersuchungen von Landolt und Nuël über die Lage des Knotenpunktes für excentrisch in das Auge fallende Lichtstrahlen. (Onderzoekingen in het Physiol. Laborat. te Utrecht 1874. Dreede Reeks III. 1, p. 1.)

Besondere Versuche über die Abnahme der Deutlichkeit beim indirecten Sehen sind schon von Purkinje (Beobachtungen II. p. 4, Figur 1), von Hueck

(Müller's Archiv 1840, p. 93), von Volkmann (Artikel Sehen im Handwörterbuch der Physiologie III. 1, 1846, p. 334), endlich, da Hueck's und Volkmann's Angaben sehr bedeutend von einander differiren (s. Physiol. d. Netzhaut p. 237), von Förster und mir (Archiv für Ophthalmologie 1857, III. 2, p. 1) gemacht worden.

Man verfährt bei diesen Bestimmungen entweder so, dass man am Perimeter (s. § 42) einen Punkt fixirt und das zu beobachtende Object an dem Gradbogen so weit nach der Peripherie von dem fixirten Punkte fortschiebt, bis es undeutlich wird, bezw. in umgekehrter Richtung, bis es deutlich wird — oder dass man, um alle Bewegungen des Auges auszuschliessen, nach Volkmann's (l. c. p. 335) Vorschlag eine Anzahl von Objecten mittelst des momentanen elektrischen Funkens beleuchtet, und aufmerkt, wie weit nach der Peripherie hin man im Stande ist, die Objecte, z. B. Zahlen oder Buchstaben, deutlich zu erkennen. Beide Methoden sind von Förster und mir angewendet worden.

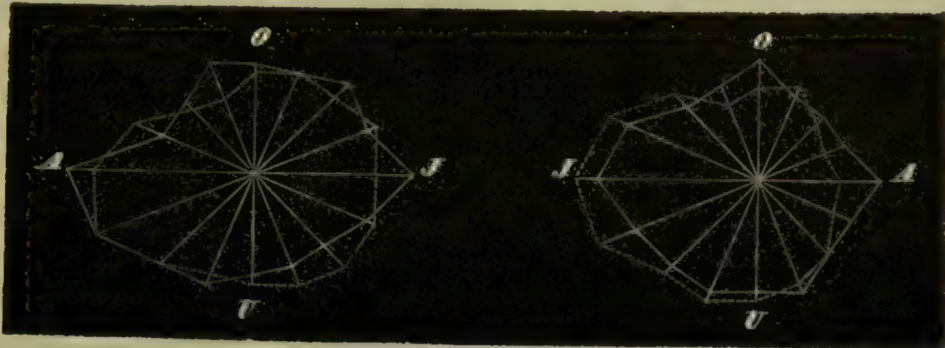
Bei der Methode mit momentaner Beleuchtung dienten als zu erkennende Objecte Ziffern und Buchstaben, welche in gleich grossen Zwischenräumen auf Papierbogen von 2 Fuss Breite und 5 Fuss Länge gedruckt sind, und so aufgerollt werden, dass etwa 2 Fuss im Quadrat sichtbar bleiben. Der Beobachter sieht dann nur während des Ueberspringens des Funkens die Ziffern und Buchstaben, ohne vorher zu wissen, was für Ziffern eingestellt sind, und giebt sofort nachdem der Funken übergesprungen ist, die Ziffern an, welche er erkannt hat, was dann sogleich controlirt und notirt wird. Es ist zweckmässig, durch eine geschwärzte Röhre auf festem Statif zu blicken, theils um dem Auge immer denselben Ort anzuweisen, theils um den Funken abzublenden; ausserdem darf man das Zimmer nicht total verfinstern, sondern nur so weit, dass die Objecte noch als matte Punkte erscheinen, damit sich das Auge für die Entfernung der Objecte richtig accommodiren kann.

Die zweite Methode besteht in der Untersuchung mittelst eines Perimeters, in dessen Läufern man eine Karte von weissem Papier, auf welcher zwei schwarze Punkte oder Quadrate in bestimmter Entfernung von einander angebracht sind, verschiebt bei fester Fixation. Es ist, wie auch Landolt und Ito (dieses Handbuch III. 1, p. 64) hervorheben, immer ein gewisses Grenzgebiet, wo man in Zweifel ist, ob man einen Punkt oder zwei Punkte sieht. — Störungen in der Genauigkeit der Bestimmung werden ferner, wie auch Landolt und Ito (l. c.) bestätigen, dadurch hervorgebracht, dass auf der Netzhaut ausser dem Mariotte'schen blinden Flecke noch andere kleinere blinde Stellen vorkommen, wahrscheinlich durch die Netzhautgefässe bedingt.

Förster und ich haben gefunden, 1) dass die Distanz der Punkte von einander massgebend ist für die Anzahl der Grade, um welche das Object von der Gesichtslinie entfernt werden kann, ohne dass die Punkte ihre Unterscheidbarkeit verlieren; 2) dass die Grösse der Punkte von Einfluss ist auf den Winkel, unter welchem die Punkte aufhören, distinct zu erscheinen; 3) dass die Fähigkeit, zwei Punkte distinct zu sehen, in den verschiedenen Meridianen der Netzhaut sehr ungleich abnimmt und für die einzelnen Augen verschieden ist. Dies ergiebt sich aus Figur 74, in welcher die 16 Radien von dem fixirten Punkte aus bis zu den Grenzen gezogen sind, wo die Unterscheidbarkeit zweier schwarzer Punkte von 2,5 Mm. Durchmesser und 9,5 Mm. Distanz ihrer inneren Ränder eben aufhörte. Die punktirten Grenzlinien beziehen

sich auf Förster's, die ausgezogenen Grenzlinien auf meine Augen; die Richtungen beziehen sich auf den Raum, sind also für die Netzhaut umzukehren, die Radiivectoren sind auf ein Fünftel reducirt. — Landolt und Ito (dieses Handbuch III. 1, p. 65) haben ganz ähnliche Resultate bei ihren Messungen am Perimeter erhalten.

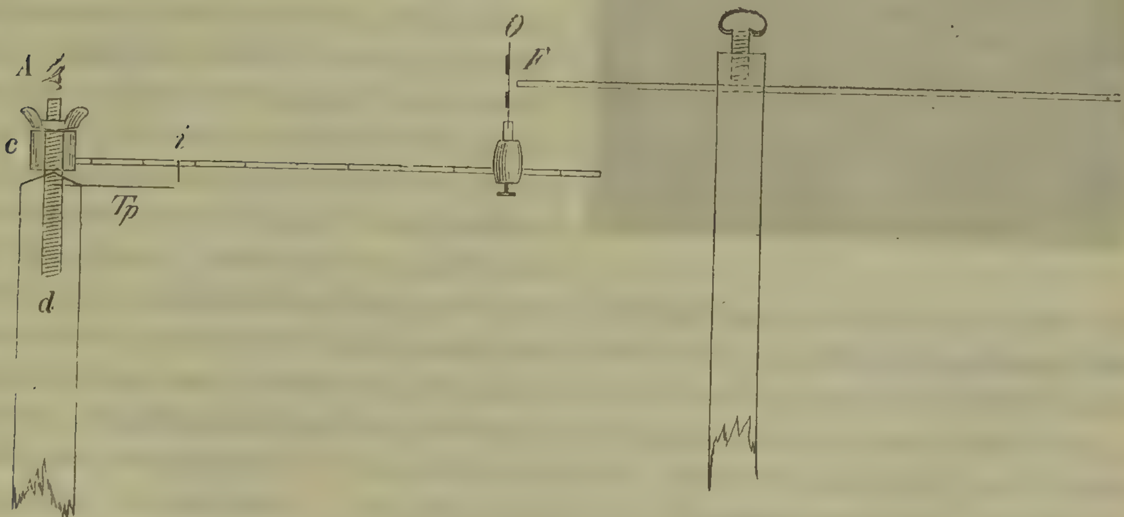
Fig. 74.



Da Förster und mir bei den Versuchen mit momentaner Beleuchtung aufgefallen war, dass die Entfernung der Objecte vom Auge Veränderungen der Grenzen für die Wahrnehmbarkeit auf der Peripherie der Netzhaut bedingte, und zwar, dass bei gleichem Gesichtswinkel für die Objecte kleine Ziffern und Buchstaben weiterhin peripherisch erkannt werden konnten, als grosse Ziffern und Buchstaben, so habe ich (Moleschott's Untersuchungen IV. p. 16, 1857) besondere Versuche über dieses auffallende Verhalten angestellt und die Thatsache genauer bestätigt.

Zur Untersuchung dient der perimetrische Apparat Figur 75, welcher aus einer etwas über 1 Meter langen Stahlstange besteht, welche mittelst der Hülse *c*

Fig. 75.



um die verticale Axe *d* gedreht werden kann; etwas über *d* befindet sich das Auge des Beobachters *A* und fixirt den näher oder ferner stellbaren Punkt *F*. In bestimmter, gemessener Entfernung werden Objecte *O* in dem Schlitze des Läufers festgesteckt und durch Drehung der Stahlstange um *d* allmälig von *F* aus nach

der Peripherie hin bewegt, bis sie aufhören, distinct gesehen zu werden. Als Objecte dienen schwarze Quadrate, deren Entfernung von einander gleich der Seite des Quadrates ist, auf weissem Papier, und zwar Quadrate von 20 Mm., 8 Mm. und 4 Mm. Seite, welche also in einer Entfernung von bezw. 1000 Mm., 400 Mm. und 200 Mm. denselben Gesichtswinkel von 1° 8′ geben. Dem entsprechend ist auch die Grösse des weissen Papiers.

Für den horizontalen Meridian der Netzhaut haben nun die Versuche ergeben, dass der Winkel, innerhalb dessen die Quadrate distinct gesehen werden (der Raumwinkel), im Mittel von 4 Beobachtungsreihen beträgt

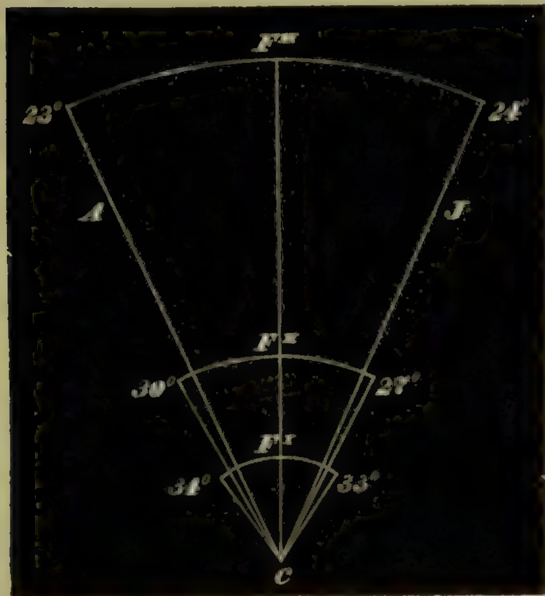
für die Quadrate von 20 Mm. in 1000 Mm. Entfernung 39°
- - - 8 - - 400 - - 54°
- - - 4 - - 200 - - 67°

Hier ist der Gesichtswinkel für die Quadrate = 1° 8′; bei einem Gesichtswinkel für die Quadrate von 0° 34′ fanden sich Raumwinkel

für die Quadrate von 8 Mm. in 800 Mm. Entfernung 35°
- - - 4 - - 400 - - 43°

Figur 76 zeigt die Differenzen der Raumwinkel für die verschiedenen Entfernungen nach meiner dritten Beobachtungsreihe, indem F^I, F^{II}, F^{III} die fixirten Punkte bedeuten, die Bogen den Raumwinkeln für die äussere und innere Seite des horizontalen Meridians (auf den Raum bezogen) entsprechen. Weitere bestätigende Beobachtungen finden sich l. c. und Physiol. der Netzhaut p. 243.

Fig. 76.



Zur Erklärung dieser Thatsache würde man zunächst daran denken, dass die Accommodation der brechenden Medien für die peripherischen Regionen der Netzhaut eine unvollkommenere sei beim Sehen in die Ferne, als beim Sehen in die Nähe. Versuche, die ich hierüber angestellt habe, haben ein negatives Resultat ergeben, denn die Accommodation für die mehr peripherischen Theile ist überhaupt so unvollkommen, dass, wenn z. B. die Richtungslinie für Quadrate, welche 10 Mm. Seite und Distanz haben und 200 Mm. von dem Auge entfernt sind, mit der Gesichtslinie einen Winkel von 15° bildet, es kaum einen Unterschied in der Deutlichkeit macht, ob ich auf 200 oder 600 Mm. accommodire; erst bei der Accommodation für grössere Ferne werden die Quadrate merklich undeutlicher. Ebensowenig lassen sich die Resultate durch die mit der Accommodation des Auges verbundene Verrückung des Knotenpunktes erklären. — Ich habe (l. c.) die Annahme gemacht, dass durch eine mit der Accommodation verbundene Verschiebung der Chorioidea und damit Hand in Hand gehende Verschiebung der Stäbchen- und Zapfenschicht der Netzhaut günstigere Lagerung der Stäbchen und Zapfen für die peripherischen Richtungslinien bewirkt würde. Seitdem ist durch Hensen und Völkers (Mechanismus der

Accommodation 1868, p. 27) eine Verschiebung der Chorioidea und mit ihr der Netzhaut bei der Accommodation für die Nähe direct nachgewiesen worden, und diese wird um so mehr für unsere Frage in Betracht kommen, wenn es nach HENSEN's Hypothese die Zapfenspitzen sind, in denen die Gesichtsempfindung angeregt wird. (cf. § 53.) Ich bin indess ausser Stande, weitere Beobachtungen für meine Hypothese beibringen zu können.

§ 55. Die Empfindungskreise der Netzhaut. — ERNST HEINRICH WEBER bezeichnet die Bezirke auf der Haut und Netzhaut, innerhalb welcher eine distincte räumliche Empfindung nicht mehr stattfinden kann, als Empfindungskreise. (Artikel Tastsinn in Handwörterbuch der Physiologie 1846, III. 2, p. 528 und Leipziger Berichte 1852, p. 103.) . Die für das directe und das indirecte Sehen gefundenen Distanzen der Netzhautbilder, innerhalb welcher Punkte nicht mehr unterschieden werden können, würden also als Durchmesser der Empfindungskreise anzusehen sein, und wir können sagen, dass die Empfindungskreise der Netzhaut in der *Fovea centralis* am kleinsten sind, nach der Peripherie der Netzhaut hin von da ab an Grösse allmälig immer mehr zunehmen. Ein ähnliches Verhalten finden wir auf der Haut, wo die Empfindungskreise z. B. an den Fingerspitzen sehr klein sind, nach der Hand und dem Arme hin aber allmälig an Grösse zunehmen.

Die Einrichtung, dass wir an einer beschränkten Stelle der Netzhaut die kleinsten Empfindungskreise haben, mit dieser Stelle also die genauesten und schärfsten Wahrnehmungen über die Form der Objecte machen können, ist von grosser Wichtigkeit für die Bewegungen unserer Augen und für die Orientirung im Raume. Wie wir die Fingerspitzen zur Betastung der Objecte in der Absicht, uns über ihre Form genauer zu unterrichten, benutzen, so betasten wir gewissermassen auch mit unserer *Fovea centralis* Stellen des Raumes, über deren Einzelheiten wir uns in räumlicher Beziehung unterrichten wollen — d. h. wir richten unsere Augen so, dass das Bild einer solchen Stelle auf die Centralgrube fällt. Hätten wir eine Anzahl derartiger Foveae, so würden wir bald diese, bald jene Fovea benutzen können, und wir müssten dann auf irgend eine Weise erfahren können, welche von diesen Foveae wir benutzen, um Erfahrungen über die räumliche Anordnung der Objecte zu gewinnen. Da für jede Netzhaut nur eine einzige Centralgrube vorhanden ist, so benutzen wir immer nur diese, und bewegen oder richten unsere Augen immer der Art, dass das Bild der Objecte, über welche wir uns genauer unterrichten wollen, auf die *Fovea centralis* fällt. Es beruht also auf dieser Anordnung der empfindenden Elemente der Netzhaut die Eigenschaft, dass wir Punkte der Objecte fixiren, die Gesichtslinien auf dieselben richten, um ihr Netzhautbild auf dem am feinsten empfindenden Theile der Netzhaut aufzufangen.

Dadurch wird die *Fovea centralis* der physiologische Mittelpunkt oder Centralpunkt der Netzhaut, und damit hängt es denn auch offenbar zusammen, dass wir unsere Netzhaut, wo sie auch immer durch einen Reiz getroffen werden mag, sofort so bewegen, dass der Reiz die Centralgrube treffen muss. Wenn wir auf unserer ganzen Netzhaut gleichmässig genaue Raumempfindung oder überall gleich grosse Empfindungskreise hätten, so läge kein Grund vor, die Augen nach diesem Princip zu bewegen. Es kann dabei allerdings auffallend erscheinen,

dass wir unsere Augen mit so grosser Präcision auf die Stelle richten, welche wir deutlich sehen wollen, da ja die Grösse der intendirten Bewegung mit nicht grösserer Genauigkeit bestimmt werden kann, als die Grösse der Empfindungskreise auf den peripherischen Regionen der Netzhaut zulässt. Es scheint aber nach einigen von mir angestellten Versuchen (Physiologie der Netzhaut p. 262 bis 264), dass man über die Lage eines indirect gesehenen Punktes mindestens so genau orientirt ist, als man nach der Grösse der Empfindungskreise erwarten kann. (cf. Aubert und Kammler in Moleschott's Untersuchungen 1858, V. p. 175, welche ähnliche Verhältnisse für die Präcision der Handbewegungen constatirt haben.) Der Zwang, unter welchem diese Classe der Augenbewegungen steht, tritt besonders auffallend hervor bei den ersten Bemühungen, die Aufmerksamkeit den indirect gesehenen Objecten zuzuwenden, ohne den Fixationspunkt zu verändern.

Die Empfindungskreise sind ferner von Bedeutung für die Grössenanschauung, wie Volkmann (Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes 1836, p. 51 und Physiologische Untersuchungen 1863, p. 141) und E. H. Weber (Handwörterbuch der Physiologie 1846, III. 2, p. 528) hervorgehoben haben. Nach Volkmann ist »die Grössenanschauung eine Function der Zahl der erregten Nervenfasern«, während sich Weber etwas reservirter dahin ausspricht: »dass die Zahl der auf einer gegebenen Fläche, z. B. einem Quadratmillimeter endenden Nervenfasern einen Einfluss hat auf den Maassstab, womit wir den erfüllten Raum messen«. Für die Haut lässt sich der Nachweis direct führen: setzt man zwei 20 Mm. von einander entfernte Zirkelspitzen auf die Spitzen des dritten und vierten Fingers auf und bewegt die Zirkelspitzen allmälig über die Hohlhand nach dem Vorderarm, so hat man ganz deutlich die Empfindung, als ob die beiden Zirkelspitzen sich einander näherten und in der Gegend des Handgelenks in eine verschmelzen. (E. H. Weber, Ueber den Raumsinn in Berichte über die Verhandlungen der Akademie in Leipzig 1852, p. 94.) Wenn Hering (Beiträge zur Physiologie 1861, I. p. 21) dagegen geltend macht, »dass uns dann eine Zirkelspitzenentfernung von einer Elle (600 Mm.) auf der Rückenhaut so gross erscheinen müsse, wie eine Zirkelspitzenentfernung von 1/2 Zoll (10 Mm.) auf der Zungenspitzenhaut«, so übersieht Hering, dass wir eine grosse Reihe von Erfahrungen über die Grössenverhältnisse unserer Körpertheile zu einander in uns aufgespeichert haben, die wir eben so gut zur Beurtheilung von Dimensionen benutzen, wie unsere directen Empfindungen. Die Basis für unsere Grössenanschauungen und die Erfahrungen darüber werden aber doch immer die Empfindungskreise bilden müssen. — Wir reduciren nämlich, wie schon Weber (Handwörterbuch p. 529) angegeben hat, das, was wir wahrnehmen, auf den Maassstab, welcher der feinste ist, benutzen also von der Haut die Fingerspitzen, von der Netzhaut die *Fovea centralis* zur Erkennung der Grösse und richten nach diesen Empfindungen unsern Grössenmaassstab ein. Ich habe schon früher (Physiologie der Netzhaut p. 252) hervorgehoben, dass wir indirect gesehene Objecte in Bezug auf ihre Grösse unbeurtheilt zu lassen gewohnt sind, und wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf die indirect gesehenen Objecte richten, die Verkleinerung derselben geringer ist, als wir nach der Grössenzunahme der Empfindungskreise nach der Peripherie hin erwarten sollten. Indess giebt Wittich (Archiv f. Ophthalm. IX. 3, 1863, p. 10) an, »dass, je weiter eine Karte von schwarzem Papier, auf welchem eine etwa

2 Mm. dicke Linie gezogen ist, von der *Visio directa* entfernt wird, um so mehr Karte und Linie sich zu verkürzen scheinen und dass eine gleich breite Linie nach der Peripherie der Netzhaut hin sich zuzuspitzen scheine«. Mir selbst hat dieser Versuch nebst ähnlichen Versuchen kein recht überzeugendes Resultat geliefert, wenigstens nicht in dem Grade überzeugend, wie der Weber'sche analoge Versuch für die Haut. — Immerhin werden wir sagen müssen: dass, wenn die Empfindungskreise nicht der Maassstab sind, womit wir den erfüllten Raum und die Objecte messen, wir überhaupt in unsern Empfindungsorganen keinen Maassstab für die Grösse anzugeben im Stande sind.

Nach dem, was in § 53 über die kleinsten wahrnehmbaren Distanzen besprochen worden ist, werden wir den Durchmesser eines Empfindungskreises in der *Fovea centralis* etwa = 50 Sekunden oder = 3,5 μ, vielleicht auch noch etwas kleiner zu setzen haben, also etwa gleich dem Durchmesser eines Zapfenkörpers: es würde dann e i n e i n z i g e r Zapfenkörper genügen, um die Empfindungen seiner Nachbarn als distincte Wahrnehmungen zu unserem Bewusstsein gelangen zu lassen; für die übrige Netzhaut dagegen würde eine grössere Anzahl von Zapfen oder Stäbchen zur Bildung eines Empfindungskreises verwendet sein, wie Weber auch für die Empfindungskreise der Haut angenommen hat. (Berichte 1853, p. 108.) Durch diese Einrichtung wird es erklärlich, dass jeder kleinste Punkt, jeder physiologische Punkt (§ 52), welcher isolirt afficirt wird, eine E m p f i n d u n g vermittelt, dass aber für eine d i s t i n c t e E m p f i n d u n g sowohl auf der Haut als auf der Peripherie der Netzhaut eine Anzahl von empfindenden (physiologischen) Punkten zwischen den Grenzpunkten eines Empfindungskreises gelegen sein muss. Ein zur Raumempfindung möglichst fein construirtes Organ würde nun offenbar so eingerichtet sein müssen, dass j e d e s e m p f i n d e n d e E l e m e n t z u g l e i c h g e n ü g t e, u m s e i n e E m p f i n d u n g i s o l i r t v o n d e n n ä c h s t b e n a c h b a r t e n E l e m e n t e n z u m B e w u s s t s e i n z u b r i n g e n, mithin das, was wir physiologischen Punkt genannt haben, zugleich die Dignität eines Empfindungskreises hätte. Es scheint in der That, dass die *Fovea centralis* diese Construction hat, da ein physiologischer Punkt in derselben etwa der Grösse eines Empfindungskreises gleich ist. Ja man würde nach den Hensen'schen Untersuchungen (Virchow's Archiv 1867, Bd. 39, p. 477) die *Fovea centralis* in dieser Beziehung sogar als ein »übercorrigirtes Instrument« anzusehen haben, indem die Distinctionsfähigkeit auf Kosten der Continuität der empfindenden Fläche vergrössert worden ist.

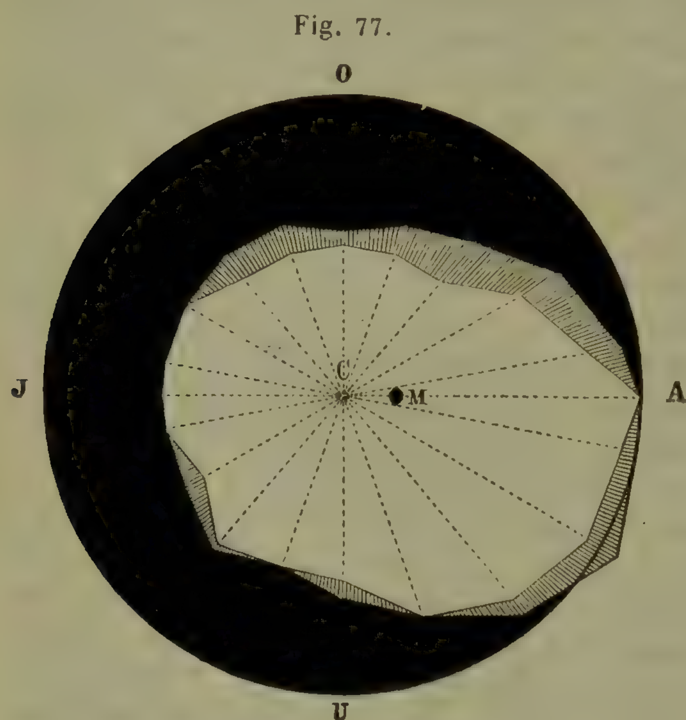
§ 56. D i e A u s d e h n u n g d e s G e s i c h t s f e l d e s. B l i n d e r F l e c k. — Mit dem Ausdruck »Gesichtsfeld« bezeichne ich im Sinne der Ophthalmologen denjenigen Theil der Netzhaut, welcher Lichtempfindung vermittelt. Die Wichtigkeit der Bestimmung der Grenzen des Gesichtsfeldes für die Ophthalmologie ist zuerst von Albrecht v. Graefe nachgewiesen worden (Arch. f. Ophthalm. 1856. II. 2, p. 286), indem er in pathologischen Fällen charakteristische Beschränkungen des Gesichtsfeldes fand. Das Problem hat schon Ptolemäus (s. Arago, Astronomie I. p. 145) experimentell zu lösen versucht, dann haben Venturi (s. ebenda), Young (Philosophical Transactions 1801, p. 44), Purkinje (Beobachtungen 1825, II. p. 6, darüber Messungen gemacht, in neuerer Zeit haben namentlich Förster, Landolt, Uschakoff und Reich (s. Snellen und Landolt dieses Handbuch III. 1,

p. 58 und p. 71) Bestimmungen über die Grenzen des Gesichtsfeldes normaler Augen vorgenommen.

Die peripherische Grenze der empfindenden Netzhautfläche wird mittelst des Perimeters (§ 42 und dieses Handbuch III. 1, p. 56) bestimmt, indem man, während das Auge den Scheitelpunkt des Gradbogens unverwandt fixirt, ein Object, z. B. ein kleines weisses Quadrat auf schwarzem Grunde, von der Peripherie nach dem Centrum zu schiebt und den Theilstrich des Gradbogens, bei welchem das helle Object zuerst bemerkt worden ist, abliest. In diesem Handbuche III. 1, p. 58 haben Snellen und Landolt die Grenzen des Gesichtsfeldes normaler Augen angegeben, aber mit Berücksichtigung pathologischer Interessen die Ausdehnung nicht von dem fixirten Punkte oder der *Fovea centralis*, sondern von der Eintrittsstelle des Sehnerven, der *Papilla optica* an gerechnet.

Alle Messungen seit Venturi haben ergeben, dass das Gesichtsfeld im horizontalen Meridiane eine grössere Ausdehnung hat, als im verticalen Meridiane, und ferner, dass von der *Fovea centralis* aus gerechnet die Ausdehnung am grössten ist von der medianen Seite der Netzhaut (also auf den Raum bezogen nach aussen), am geringsten an der unteren, etwas grösser an der lateralen und noch etwas grösser an der oberen Seite.

Fig. 77.



Die beistehende Figur 77 zeigt in dem weissen Felde die Ausdehnung des Gesichtsfeldes für mein rechtes Auge auf den Raum bezogen, nach Messungen meines verehrten Freundes Förster. Wenn ich in der Zeichnung den oberen Theil des verticalen Meridians mit 0° bezeichne und die um je 20° in der Richtung nach aussen hin entfernten folgenden Meridiane mit 20°, 40°, 60° u. s. w., so fand Förster an meinem rechten Auge folgende Zahlen für die Ausdehnung des Gesichtsfeldes:

(Oben) 0°	20°	40°	60°	80°	(Aussen) 90°	100°	120°	140°	160°
45°	45°	45°	60°	75°	90°	85°	85°	80°	70°

(Unten) 180°	200°	220°	240°	260°	(Innen) 270°	280°	300°	320°	340°
55°	55°	58°	47°	55°	55°	55°	55°	45°	45°

Es ergiebt sich daraus für den horizontalen Meridian bei mir eine Ausdehnung von 145°, für den verticalen Meridian von 100°. Landolt fand grössere Zahlen, ebenso Uschakoff und Reich (dieses Handbuch III. 1, p. 59), und zwar für Emmetropen horizontal 142° im Maximum, 137° als Minimum, vertical 120° im Maximum, 114° im Minimum. Förster giebt gleichfalls grössere Zahlen für

das normale kleinste Gesichtsfeld an (Möser, Diss. inaug. Breslau 1869, p. 24). Da meine Augen zur Zeit der Untersuchung in allen Beziehungen gut waren und in den folgenden 12 Jahren bis jetzt sehr gut geblieben sind, so dürften wohl die Normalzahlen etwas niedriger anzusetzen sein.

Etwas grösser wird die Ausdehnung des Gesichtsfeldes, wenn man dem Auge eine solche Stellung giebt, dass die umgebenden Theile: Nase, Augenlider u. s. w. nicht im Wege sind. Man kann das erreichen, wenn man einen Punkt etwa 20°—30° von dem Scheitelpunkte des Perimeters nach der entgegengesetzten Seite, als man misst, gelegen fixirt. Förster hat bei mir folgende Zunahme gefunden:

0°	20°	40°	60°	80°	90°	100°	120°	140°	160°
5°	10°	15°	15°	10°	0°	5°	10°	5°	0°
180°	200°	220°	240°	260°	270°	280°	300°	320°	340°
5°	0°	2°	8°	0°	0°	0°	0°	10°	10°

In Figur 77 ist diese Erweiterung des Gesichtsfeldes durch den schraffirten Theil ausgedrückt.

Dies stimmt ziemlich überein mit Landolt, ausgenommen in der Erweiterung des Gesichtsfeldes nach Innen (lateralwärts für die Netzhaut) — denn während bei mir die Zunahme = 0 ist, findet Landolt eine Zunahme von 25°. Worauf diese Verschiedenheit beruht, weiss ich nicht. Indess möchte ich glauben, dass Purkinje ähnliche Erfahrungen gemacht hat, wie ich, da er (Beiträge II. p. 7) sagt: »Wenn die Fläche der Retina beim gewöhnlichen Vorsichhinsehen unausgesetzt durch schief einfallende Lichtstrahlen in Erregung und Uebung ist, so bleiben diejenigen Partien derselben, denen durch oben angeführte Theile das Gesichtsfeld beschränkt wird, ausser Erregung und Uebung, und sind daher in einem lähmungsartigen Zustande.« Nebenbei sei hierzu bemerkt, dass die Erklärung, welche Purkinje giebt, mir nicht haltbar scheint, denn Nase, Augenbrauen u. s. w. sind für die Netzhaut doch auch beleuchtete Theile der Aussenwelt — und ob ein mit den Centralorganen in Verbindung stehender Nerv durch lange Nichterregung gelähmt werden kann, ist sehr zweifelhaft.

Die Untersuchungen ergeben aber, dass die Grenze der *Ora serrata* nicht die Grenze des empfindenden Theiles der Netzhaut ist, die erstere vielmehr weiter reicht.

Dies wäre also der Umfang des Sehvermögens für ein unbewegtes Auge. Für beide unbewegte Netzhäute beträgt der Gesammtumfang des Gesichtsfeldes 180° im horizontalen Meridiane. — Ferner wird durch die Bewegungen der Augen der Umfang des Gesichtsfeldes noch bedeutend vergrössert. Helmholtz (Physiologische Optik p. 461) hat diese Grösse als Blickfeld bezeichnet. Es beträgt bei mir (von Förster gemessen) nach

oben 30° — unten 57° — innen 44° — aussen 38° —

oben innen 40° — oben aussen 38°, unten innen 49°, unten aussen 35°.

Helmholtz giebt (Physiol. Optik p. 459) an, dass er bei stärkerer Anstrengung in horizontaler Richtung etwa 50° nach beiden Seiten, und etwa 45° nach oben und nach unten (s. § 74) übersehe. Im Ganzen können wir also bei unbewegtem Kopfe im horizontalen Meridiane etwa 260°, im verticalen Meridiane etwa 200° des Raumes übersehen.

In der empfindenden Netzhautfläche ist eine Lücke, welche durch die Ein-

trittsstelle des Sehnerven, den Mariotte'schen oder blinden Fleck gebildet wird (Mariotte, Philosophical Transactions 1668, II. und Mémoires de l'Académie de Paris 1669 und 1682) Figur 77 *M*. Dass die ganze Eintrittsstelle des Sehnerven oder die *Papilla optica* es ist, welche kein Licht empfindet, geht theils aus den Messungen des blinden Flecks an lebenden Augen (Hannover, Das Auge 1832, p. 80 — Listing bei E. H. Weber, Berichte der Leipziger Akademie 1852, p. 152 — Helmholtz, Physiologische Optik p. 212 — Landolt dieses Handbuch III. 1, p. 60) hervor, theils aus den Versuchen von Donders (Onderzoekingen gedaan in het Physiol. Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool 1852, VI. p. 134) und Coccius (Ueber Glaucom, Entzündung und die Autopsie mit dem Augenspiegel 1859, p. 40 und 52), welche nachwiesen, dass, so lange das von einem Augenspiegel geworfene Lichtbildchen die Grenze der *Papilla optica* nicht überschreitet, keine Lichtempfindung stattfindet. Man bestimmt die Grösse des blinden Fleckes, indem man einen Punkt auf einem Papierblatte oder auf dem Perimeterbogen fixirt, bei verdecktem andern Auge und gut unterstütztem Kopfe, und eine helle Marke auf dunklem Grunde, oder umgekehrt, so lange verschiebt, bis sie verschwindet: wenn man nun bei unveränderter Fixation die Marke nach verschiedenen Richtungen verschiebt oder verschieben lässt, und die Punkte angiebt, wo sie eben zum Vorschein kommt, so findet man die Grenzen des blinden Fleckes. Helmholtz hat nach dieser Methode den blinden Fleck seines rechten Auges aufgezeichnet, indem er statt der Marke eine in Tinte getauchte weisse Federspitze benutzte. (Physiol. Optik p. 212, Figur 101.)

Nach den verschiedenen Messungen beträgt im Mittel die Entfernung des lateralen Randes des blinden Fleckes von dem Gesichtspunkte $12^1/_2{}^0$, der des medianen Randes $18^1/_2{}^0$. Die individuellen Differenzen sind ganz erheblich. (Eine Zusammenstellung von Angaben s. auch in Aubert, Physiologie der Netzhaut p. 256.)

Die Behauptung von Fick und P. Dubois-Reymond (Müller's Archiv 1853, p. 396), dass sehr intensives Licht, welches auf die *Papilla optica* fällt, in derselben eine Lichtempfindung hervorbringe, ist von Helmholtz (l. c. p. 211) dahin erledigt, dass sich ein Theil des Lichtes auf die anstossenden Theile der Netzhaut verbreitet und von diesen der schwache Lichtschein empfunden wird.

Dass wir beim gewöhnlichen Sehen nichts von einer Lücke im Gesichtsfelde bemerken — daher denn auch Mariotte's Entdeckung seiner Zeit grosses Aufsehen erregte (Helmholtz l. c. p. 222), soll theils daran liegen, dass wir mit beiden Augen sehen, theils daran, dass wir die Augen viel bewegen, theils daran, dass wir das indirect Gesehene nur sehr oberflächlich beachten — der eigentliche Grund ist aber wohl der, dass wir eben n i c h t s mit dieser Stelle sehen, und, um es kurz zu sagen, eben nicht wissen, wie Nichts aussieht. Eine Lücke in der Netzhaut ist nicht eine Lücke im Gesichtsfelde: was sollen wir denn zu sehen erwarten, wenn wir mit einem Auge auf den gleichmässig hellen Himmel, oder auf eine Papierfläche sehen? Dass man überhaupt erwarten konnte, etwas zu sehen, kann nur seinen Grund in der falschen Auffassung haben, dass man den Mangel an objectivem Lichte gleichbedeutend mit dem Mangel an Empfindung nahm, und etwa erwartete, ein Loch oder eine dunkle Stelle zu sehen.

Was auf die Stelle des blinden Fleckes fällt, sieht man nicht, aber etwas anderes sieht man auch nicht. Wenn Volkmann (Berichte der Leipziger Akademie

1853, p. 27 und 149) den Kreuzungspunkt farbiger Linien mit einer kleinen Oblate bedeckt, und das Bild der letzteren auf den blinden Fleck fallen lässt, so glaubt man bald die eine, bald die andere Linie an der verdeckten Stelle zu sehen und kommt (p. 41) zu dem Paradoxon: man sähe Dinge, welche nicht da wären, dadurch, dass man sie auf den blinden Fleck fallen liesse. Weder Helmholtz (Physiol. Optic p. 575) noch ich (Physiologie der Netzhaut p. 257) haben eine derartige Ergänzung mit Sicherheit sehen können. Eben so wenig kann ich die von v. Wittich (Arch. f. Ophthalm. 1863, IX. 3, p. 1—31) angegebenen Veränderungen sehen (Physiol. d. Netzhaut p. 258).

Ausser dem Mariotte'schen Flecke hat Coccius (Glaucom u. s. w. 1859, p. 42) noch mehrere blinde Flecke im Auge nachgewiesen und zur Auffindung derselben folgendes Verfahren angegeben: man bezeichnet durch einen grösseren schwarzen Fleck auf weissem Papier die Stelle für den Eintritt des Sehnerven, darüber und darunter macht man einen schmalen Strich oder Punkt und lässt nun durch eine Skala von Punkten zu beiden Seiten desjenigen Fleckes, welcher dem Sehnerveneintritte entspricht, das Auge langsam von einem Punkte zum andern fortschreiten, bis der Strich oder Punkt plötzlich verschwindet.

Auch Förster und ich (Arch. f. Ophthalm. 1857, III. 2, p. 32) haben bei Gelegenheit unserer Beobachtungen über das indirecte Sehen, gleichfalls das Vorhandensein von kleinen blinden Flecken bemerkt, und ich bin bei späteren Beobachtungen am Perimeter vielfach auf dieselben gestossen. — Coccius leitet diese kleinen Lücken im Gesichtsfelde von den Centralstämmen der Netzhautgefässe ab.

Im Hinblick auf die Unterbrechungen der Continuität der empfindenden Netzhautfläche mache ich darauf aufmerksam, dass die Vorstellung der Continuität aprioristischer Natur ist, dass wir *a priori* geneigt sind, den Objecten eine Continuität beizulegen und diese Annahme so lange festhalten, als die sinnlichen Empfindungen und Wahrnehmungen derselben nicht direct widersprechen.

§ 57. Die empfindende Netzhautschicht. — Es ist die Frage, wo die Empfindung des Lichtes ihren Anfang nimmt, oder wo die Bewegung des Lichtäthers anfängt, in Nerventhätigkeit umgesetzt zu werden? Mariotte (Oeuvres 1740, p. 496) schloss aus seinen Versuchen über den blinden Fleck, dass die Chorioidea dieses Organ sein müsse, weil die Netzhaut auch da sei, wo der blinde Fleck liege, die Chorioidea aber nicht, und zweitens, weil die Netzhaut so durchsichtig im frischen Auge sei, dass sie alles Licht durchlasse. De la Hire (Mémoires de l'Acad. 1709, Vol. IX. p. 617) wandte dagegen ein, die Netzhaut müsse das Werkzeug des Sehens sein, weil sie eine Ausbreitung des Sehnerven sei und Empfindungen nicht ohne Nerven stattfinden könnten. (Smith-Kästner, Lehrbegriff der Optik 1755, p. 368.)

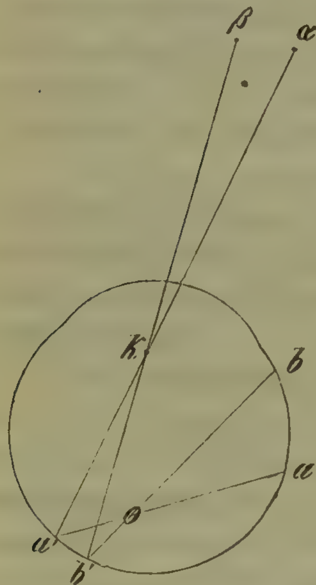
Treviranus (Beiträge zur Aufklärung der Gesetze und Erscheinungen des organischen Lebens 1835, II. p. 42) hat wohl zuerst die Stäbchenschicht der Netzhaut als das die Lichtempfindung vermittelnde Organ angesehen und die weitere Ausführung und Begründung dieser Hypothese ist von Heinrich Müller (Würzburger Verhandlungen 1855, Bd. V. p. 411) beigebracht worden.

Der Gedankengang bei Heinrich Müller ist folgender: Die Purkinje'sche Ader-

figur (s. § 20) wird durch den von den Netzhautgefässen geworfenen Schatten erzeugt — die lichtpercipirende Schicht muss folglich hinter derjenigen Schicht der Netzhaut liegen, in welcher die Blutgefässe verlaufen — die Gefässe verlaufen grösstentheils hinter der Schicht der Opticusfasern, nur zum Theil in derselben, aber nicht vor derselben — folglich müssen die hintersten (äussersten) Elemente der Netzhaut von dem Schatten der Gefässe getroffen werden. — Die Grösse der Bewegung, welche die Aderfigur bei Bewegung der Lichtquelle macht, ergiebt, dass die lichtpercipirende Schicht so weit hinter den Gefässen liegt, als die Stäbchenschicht hinter denselben bei directer Messung gefunden wird: folglich muss die Zapfen- und Stäbchenschicht die lichtpercipirende Schicht sein.

H. Müller verfuhr dabei folgendermassen: er projicirte die Aderfigur auf eine Fläche, deren Entfernung vom Auge bestimmt war, liess die Lichtquelle eine Excursion von bestimmter Grösse auf der Sclerotica machen (s. § 20) und bestimmte nun die Grösse der Verschiebung eines Gefässästchens, welches er zur Beobachtung wählte, auf der Fläche. Ist in Figur 78 ab die Verschiebung des Lichtpunktes auf der Sklera, $\alpha\beta$ die Verschiebung der Projection auf der Tafel, so wird $a'b'$ die Verschiebung des Gefässschattens auf der Netzhaut sein: zieht man die Linien aa' und bb', so ist der Punkt, wo sich diese Linien schneiden, der Ort des schattenwerfenden Objectes, welcher durch Rechnung gefunden werden kann. Heinrich Müller hat für die Entfernung der Gefässe von der empfindenden Schicht an seinen eignen Augen 0,17 Mm. bis 0,33 Mm. gefunden. Die Messungen an anatomischen Präparaten haben Müller für diese Entfernung der Gefässe von der Stäbchen- und Zapfenschicht in der Nähe des gelben Flecks 0,2 Mm. bis 0,3 Mm. ergeben, woraus Müller schliesst, dass ungefähr in der Zapfenschicht der Schatten der Netzhautgefässe auf die Anfänge der empfindenden Organe fällt. — Da Müller nichts Näheres über die direct gefundenen Werthe und seine Berechnung der angeführten Grössen angegeben hat, so bleiben die erheblichen Differenzen seiner physiologischen Bestimmungen unklar, und ein sicherer Beweis, dass die Stäbchen- und Zapfenschicht die empfindende Schicht sei, scheint nicht geliefert — man kann nur so viel mit Sicherheit annehmen, dass die empfindende Schicht eine gewisse Strecke hinter den Netzhautgefässen liegen muss. Allerdings sprechen noch andere, sogleich zu erwähnende Thatsachen für die Müller'sche Hypothese.

Fig. 78.



Die histologischen Untersuchungen geben bisher noch keine Anhaltspunkte für die Frage, wo die nervösen Elemente der Netzhaut aufhören: ein Zusammenhang der Fasern diesseits und jenseits der *Limitans externa* ist nicht nachgewiesen, soll sogar aus mancherlei histologischen Gründen unwahrscheinlich sein (s. dieses Handbuch I. 1, p. 449). Anderseits sind die anatomischen Verhältnisse der *Fovea centralis* kaum anders zu deuten, als dass ein Zusammenhang zwischen den Zapfen und den nervösen Elementen existirt, den wir doch anzunehmen genöthigt sind; denn was sollte sonst die Empfindung in denselben vermitteln?

Der Umstand, dass die nervöse Natur der Stäbchen und Zapfen zweifelhaft ist, würde keine wesentliche Bedeutung für die Frage haben, wo die Lichtbewegung eine Umsetzung erfährt, denn es ist sogar zu erwarten, dass an den Endorganen der Nerven andere Vorrichtungen sind, als in den leitenden Fasern, weil in den Endorganen andere, als die zur Leitung erforderlichen Processe vor sich gehen müssen. Andernfalls würden ja die Nervenfasern einfach als solche endigen müssen.

Wir werden also auch zu fragen haben: wenn die Stäbchen und Zapfen die die Empfindung vermittelnden Endorgane nicht sind, welche anderen Elemente sollen es denn sein? Es lässt sich keines der Elemente nennen, welche mit nur einiger Wahrscheinlichkeit als nervöses Endorgan angesehen werden könnte. (cf. Volkmann, Handwörterbuch der Physiologie II. p. 570 und III. 1, p. 272. — Helmholtz, Beschreibung eines Augenspiegels 1851, p. 39.)

Da nun, wie wir oben § 52 gesehen haben, die Wahrnehmbarkeitsgrenze kleinster Distanzen der Grösse der Zapfen in der *Fovea centralis* als empfindender Elemente nicht widerspricht — die Anordnung der Zapfen daselbst von der Art ist, dass sie für die Wahrnehmung distincter Punkte sehr zweckmässig erscheint, — in der Mitte der *Fovea centralis*, der Stelle des schärfsten Sehens nur Zapfen und sonst kaum Spuren der übrigen Schichten sich finden, — die Versuche Müller's zu der Annahme nöthigen, dass die Empfindung eine Strecke weit hinter den Netzhautgefässen beginnt: so bleibt wohl keine andere Annahme möglich, als dass in der Stäbchen- und Zapfenschicht der Empfindungsprocess seinen Anfang nimmt.

Es ist aus dieser Darlegung aber auch ersichtlich, dass wir nichts darüber aussagen können, ob etwa die Aussenglieder oder die Innenglieder der Zapfen die physiologischen Endorgane seien. Wenn Brücke (Müller's Archiv 1844, p. 444) ihnen eine musivische Wirkung, M. Schultze und Zenker (Archiv für mikroscop. Anatomie 1867, III. p. 243) ihnen einen besonderen Einfluss auf die Lichtwelle zuschreiben, so ist in diesen Hypothesen kein Widerspruch gegen die obige Annahme enthalten.

Welche Unterschiede endlich zwischen den Functionen der Stäbchen und der Zapfen vorhanden sein mögen, darüber ist kaum etwas anderes, als Vermuthungen vorhanden. (cf. Max Schultze, Archiv f. mikroscop. Anatomie 1866, II. p. 165 und 247 — 1867, III. p. 215. — Schwalbe, dieses Handbuch I. 1, p. 415.)

D. Die Projection der Gesichtsempfindungen.

§ 58. Standpunkt. Aufgabe der Untersuchung. — Es ist eine allgemeine Eigenschaft unserer Sinnesempfindungen, dass dieselben nicht an den Ort, wo die Empfindung ausgelöst wird, sondern in den Raum versetzt werden, welchen wir uns *a priori* vorstellen. Wir kennen weder den Theil unseres Gehirns, in welchem die Empfindung perfect wird, noch den Theil, welcher die Vorstellung des Raumes producirt, und wissen nur so viel, dass jeder qualitativen Empfindung eine sogenannte extensive Empfindung, d. h. der Zwang anhaftet, im Raume localisirt zu werden. — Wenn wir nun eine Anzahl qualitativ gleicher Empfindungen gleichzeitig haben, so stellen wir uns vor, dass dieselben ver-

schiedene Stellen im Raume einnehmen, und sind überhaupt nicht im Stande, uns unter diesen Bedingungen etwas Anderes vorzustellen. Wir finden ferner, dass wir die Empfindungen an irgend welche Orte des Raumes in Beziehung auf uns selbst setzen und sie ausserdem in räumliche Beziehung zu einander setzen.

In Beziehung auf uns selbst werden die Empfindungen zu Objecten, denen wir unsere Empfindung als Eigenschaft beilegen, und wir streben darnach, andere Empfindungen durch die supponirten Objecte zu erlangen. Eine Lichtempfindung z. B. inducirt den Versuch, eine Tastempfindung zu erhalten, und haben wir eine solche gewonnen, so stellen wir uns ein Object mit zwei Eigenschaften vor, indem wir uns die Lichtempfindung und die Tastempfindung nicht als in uns producirt, sondern als von dem Objecte ausgehend und ihm inhärirend vorstellen. Der gewollte Versuch, eine Tastempfindung zu gewinnen, welcher gelingt, setzt zugleich das Object als solches (als Ding) in Beziehung zu uns, und wir machen eine Erfahrung über dasselbe.

Zweitens bringen wir die in den Raum versetzten Empfindungen in Beziehung zu einander, zeitlich oder räumlich. Abgesehen von zeitlichen Beziehungen, construiren wir, zunächst in so weit die Empfindungen qualitativ ähnlich sind, Formen für dieselben, und richten nach diesen Formen unsere Bewegungen ein, sowohl die der Augen, als die unserer tastenden Glieder. Wir erfahren, durch welche gewollten Bewegungen gewisse Empfindungen erreicht werden, und so entwickelt sich eine gegenseitige Beziehung von Empfindungen zu Bewegungen und von Bewegungen zu Empfindungen.

Eine weitere Frage ist nun, ob eine prästabilirte, d. h. durch die Organisation unserer Empfindungs- und Bewegungs-Centra gegebene Harmonie oder richtiger ein prästabilirter Zwang zwischen Empfindungen und Bewegungen ursprünglich gegeben ist. Bei den Thieren, welche gleich nach der Geburt eben so bestimmte Bewegungen ausführen, als im späteren Leben, z. B. den Bienen, den Meerschweinchen, den Hühnern (s. Cuvier, Mémoires du Museum d'Histoire naturelle X. p. 257 und Abbott, Sight and Touch, London 1864, p. 163—173. — p. 168: »*Sir Joseph Banks said he had seen a chicken catch at a fly whilst the shell stuck to its tail*«.) muss ein derartiger Zwang statuirt werden. Für den Menschen ist ein solcher Zwang auch gegeben — neben demselben werden aber Kräfte im Organismus frei, welche als sogenannter freier Wille diesem Zwange entgegenwirken. Ein solcher Zwang existirt z. B. für die Bewegungen der Augen, wenn den Empfindungen das Localzeichen des indirect Gesehenen anhaftet: es erfolgt dann eine Bewegung des Auges, welche das Localzeichen des direct Gesehenen hervorzurufen bestimmt ist, und der Zwang zu dieser Bewegung ist etwa eben so gross, wie der Zwang, sich zu kratzen, wenn es juckt. Die Bewegung kann unterdrückt werden durch antagonistische Willensimpulse, aber die Bewegungsintention ist vorhanden, bleibt bestehen, und löst die Bewegung aus, sobald die Willensintention kleiner wird, als die Bewegungsintention. Aber nicht blos die Bewegung, sondern auch die Grösse und Richtung der Bewegung ist eine zwangsweise gegebene, sie erfolgt, wenn nicht durch den Willen gehemmt wird, mit grösster Präcision: der indirect gesehene aufspringende Hase wird von dem Jäger sofort direct gesehen, d. h. fixirt. Was hierbei angeboren und was durch Erfahrungen u. s. w. verändert ist, wird allgemein sich nicht ausdrücken lassen,

— nur im speciellen Falle wird eine Analyse des Vorganges in Bezug auf Angeborenes und Angenommenes gelegentlich möglich sein.

Da nun über die Localzeichen und ihr Organ nichts bekannt ist, so hat man den Weg eingeschlagen, unsere räumlichen Empfindungen auf den einzigen bekannten Theil des Empfindungsorganes, auf die Netzhaut zu reduciren, indem man bewusst oder unbewusst die Annahme machte, dass den räumlich unterscheidbaren Punkten der Netzhaut auch constante unterscheidbare Localzeichen im Sensorium entsprechen, und zwar genau Punkt für Punkt entsprechen, dass wir mithin unsere Empfindungen auch der Anordnung der empfindenden Netzhautelemente gemäss im Raume anordnen, oder in den Raum projiciren. Wenn dem Netzhautpunkte a das Localzeichen x, dem Netzhautpunkte b das Localzeichen y entspricht, so setzen wir die Verbindung von a mit x und von b mit y als constant und unveränderlich voraus und projiciren x auf dem Wege über a, y auf dem Wege über b in den Raum hinaus. Unter Voraussetzung dieser Constanz gewinnen a und b selbst die Bedeutung eines Localzeichens; x und y sind dabei nach dem in § 51 Erörterten nicht räumlich, sondern qualitativ different zu denken.

Eine weitere Complication dieses Verhältnisses zwischen Sensorium und Netzhaut bietet der Umstand, dass wir zwei Netzhäute haben, welche mit dem Sensorium verbunden sind: es werden also Localzeichen durch jede der beiden Netzhäute passiren und auch nach aussen projicirt werden müssen. Ob nun ein Weg da ist, auf welchem die Empfindungen in den Raum versetzt werden, oder viele Wege, welche zu dem gleichen Ziele führen, würde nichts ändern, so lange nur ein Sensorium vorhanden ist. —

Aber die ganze Frage nach der Localisation unserer Empfindungen wird durch die naive Ansicht vom Raum und den Objecten verschoben: wir sind aus unbekannten Gründen von vornherein überzeugt, dass der Raum und die Objecte etwas Wirkliches sind und stellen daher die Frage, ob unsere Localisationen Correlate des Wirklichen sind? Da das Wirkliche nur insofern existirt, als es von uns empfunden und localisirt wird, so kann eigentlich die Frage nur bejaht werden, wie z. B. Porterfield (Treatise on the Eye, 1759, II. p. 293) auch gethan hat, wenn er sagt, »wir sehen die Dinge da, wo sie sind« *(the faculty we have of seeing Things in the Place, where they are).*

Es kann von unserm Standpunkte aus eigentlich nur die Frage gestellt werden: ob die von uns gemachten Localisationen unserer Empfindungen mit einander übereinstimmen, oder ob Widersprüche in den Localisirungen im Raume vorkommen? Das letztere ist in der That der Fall unter besonderen Umständen, und wenn wir auch die entstehenden Conflicte leicht so weit entscheiden, dass darunter die Exactheit unserer Bewegungen nicht leidet, so müssen doch jedenfalls die Bedingungen der Conflicte und die Regeln, nach welchen wir sie entscheiden, untersucht werden. Beispiele von sich widersprechenden Localisationen werden wir im Folgenden vielfach zu erörtern haben, und es wird dabei meist wenig ändern, ob wir, unserer naiven Vorstellung folgend, wirkliche Objecte im wirklichen Raume voraussetzen, oder nicht. Da sich die Sprache unter der Herrschaft der naiven Vorstellung der Wirklichkeit entwickelt hat, so werden wir im Folgenden uns meistens dieser Vorstellung gemäss auszudrücken

haben, um weitläufige und schwerverständliche Umschreibungen zu vermeiden. Wir würden z.B. statt »man sieht einen Körper« sagen müssen: »man projicirt die einzelnen Punkte des Netzhautbildes in verschieden grosse Entfernungen, welche in einer solchen Relation zu einander stehen, dass sie auf die Vorstellung eines nach drei Dimensionen ausgedehnten Raumstückes bezogen werden müssen«.

Wenn HERING (Beiträge zur Physiologie 1862, II. p. 165) »einen wirklichen, im Grunde auch subjectiven Raum« von einem »subjectiven Raume im engeren Sinne, d. h. dem Raume, wie er fürs Auge da ist« unterscheidet, so scheint er dieselbe Ansicht über den Grad unserer möglichen Erkenntniss zu haben, wie ich sie in § 51 auf Grund der Kant'schen Lehre entwickelt habe. HELMHOLTZ (Physiologische Optik p. 441 u. f., überhaupt in § 26) steht auf einem weniger subjectiven Standpunkte. Für eine nähere Besprechung der sich auf diesem Gebiete entgegenstehenden Theorien scheint mir hier nicht der passende Ort.

Wir werden zu untersuchen haben, wie wir localisiren mittelst eines und zwar unbewegt gedachten Auges, zweitens wie wir mit beiden, unbewegt gedachten Augen localisiren, drittens, welchen Einfluss die Bewegungen der Augen auf die Localisirung unserer Empfindungen haben.

§ 59. Monoculare Projection des unbewegten Auges. — Wir können die Leistungen des einen unbewegten Auges nur untersuchen zu einer Zeit, wo wir mit Hülfe sämmtlicher disponiblen Mittel schon sehr bestimmte Vorstellungen vom Raum und von den Objecten gewonnen haben — die Untersuchung wird ferner dadurch beeinträchtigt, dass wir gewohnt sind, nur auf einzelne Merkmale der Objecte Achtung zu geben und auf Grund derselben sogleich die gesammte Vorstellung von dem Objecte zu reproduciren — endlich sind wir nicht im Stande, die Bewegungen des geschlossenen Auges zu unterdrücken, wenn das offene Auge z. B. auf Punkte blickt, welche hintereinander in ein und derselben Richtung liegen. Daher bemerken die meisten Menschen keinen Unterschied im Sehen, wenn sie das eine Auge schliessen: ist doch erst LEONARDO DA VINCI (Mahlerey 1786, p. 80, die erste Ausgabe des Trattato della Pittura ist von 1584) darauf aufmerksam geworden, dass man bei geschlossenem einem Auge von den hinter einem Körper befindlichen Objecten etwas weniger sieht, als wenn beide Augen offen sind.

Unter den gegebenen Bedingungen beobachten wir: 1) dass wir unsere Empfindungen nach aussen projiciren oder in den Raum versetzen. Dass dies auf einem angeborenen Zwange, nicht auf gewonnener Erfahrung beruht, scheint mir am sichersten daraus hervorzugehen, dass wir unbekannte Empfindungen in gleicher Weise projiciren: Jeder, dem die Purkinje'sche Aderfigur zum ersten Male sichtbar wird, und zwar in einem möglichst finstern Raume, projicirt dieselbe in den Raum; ebenso Jeder, der bei geschlossenen Augen, wenn das eine von der Sonne beschienen wird, die Bewegung der Blutkörperchen sieht; desgleichen die durch Druck auf die Netzhaut hervorgebrachten leuchtenden Punkte und die Nachbilder und sonstige Phantasmen sowohl bei offenem als bei geschlossenem Auge.

2) Wir projiciren ungefähr nach den Richtungslinien der Objecte, also nach Linien, welche wir uns von den einzelnen Objectpunkten oder Netzhautpunkten durch den hinteren Knotenpunkt gelegt denken können; dies

geht namentlich aus den parallaktischen Bewegungen der Purkinje'schen Aderfigur (s. § 57) hervor und aus den Druckfiguren. (Joh. Müller, Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes 1826, p. 71 und Handbuch der Physiologie 1840, II. p. 377.) Wenn wir genau nach den Richtungslinien der Objecte projicirten, so würden wir monocular die Objecte ebendaselbst sehen, wo sie uns beim binocularen Sehen erscheinen. Das ist aber nicht immer der Fall (s. § 60). Die Erwartung, welche man gehabt hat, dass wegen der Ausbreitung der Netzhaut in Form einer hohlen Halbkugel auch die Projectionen in einer entsprechenden Halbkugel angeordnet erscheinen würden, bestätigt die Beobachtung nicht: man kann überhaupt nicht sagen, dass man die Projectionen, bei möglichster Unbeschränktheit des Projicirens, z. B. die der Aderfigur, in einer näher bestimmbaren Form einer Fläche sieht — Helmholtz (Physiol. Optik p. 533) sagt: die Gegenstände erscheinen »wie an einer Fläche, in einer nach zwei Dimensionen unterschiedenen Anordnung«. Man wird kaum einen angemesseneren Ausdruck finden können für das, was man monocular sieht, wenn man es vermeidet, bekannte und perspectivisch sehr stark gekennzeichnete Objecte monocular anzuschauen. Recht geeignet ist der Sternhimmel oder noch mehr ein mit unregelmässig geformten Wolken oder Wölkchen bedeckter Himmel. Jedenfalls ist die Projectionsfläche nicht ein Stück einer Hohlkugel, sondern eine viel unbestimmtere Form, und diese unbestimmte Form geht wohl hervor aus der Undeutlichkeit des indirecten Sehens.

3) Wir projiciren in eine sehr unbestimmte Entfernung von uns (d. h. beurtheilen die Entfernung von Objecten sehr mangelhaft), wenn wir möglichste Freiheit haben, d. h. nicht durch die Accommodation für eine bestimmte Entfernung oder durch vorher erworbene Kenntniss der Umgebungen beschränkt werden. Es scheint mir aber, dass wir auch bei ein und derselben Accommodation, und zwar für sehr grosse Ferne, wenn wir z. B. monocular nach dem Himmel sehen, in verschiedene Entfernung projiciren: wenn unter diesen Umständen eine Fliege vor unserm Auge vorbeifliegt, so erscheint sie hoch in der Luft wie ein grosser Vogel, wird also in sehr grosse Ferne projicirt — unter gleichen Bedingungen erscheinen dagegen die entoptischen *mouches volantes* keineswegs in sehr grosse Entfernung projicirt. Allerdings ist aber der Accommodationszustand des Auges von Einfluss auf die Entfernung, in welche wir projiciren, und zwar projiciren wir ungefähr in die Entfernung, für welche das Auge accommodirt ist, aber keineswegs sicher und regelmässig. Wundt (Theorie der Sinneswahrnehmung 1862, p. 106 u. f.) hat Messungen über die Genauigkeit, mit welcher beim monocularen Sehen Entfernungen geschätzt werden, angestellt und ist zu dem Resultate gekommen, »dass die Accommodation nichts aussagt über die absolute Entfernung der Gegenstände im Raume, sondern nur eine äusserst oberflächliche Kenntniss ihrer relativen Lage giebt, indem sie es möglich macht, das Nähere vom Entfernteren zu unterscheiden. Eine eigenthümliche, unrichtige Projection tritt ein, wenn man mit Anstrengung accommodirt: accommodire ich (mit einem Nahepunkte zur Zeit von 450 Mm.) auf eine Entfernung von 300 Mm., so tritt Mikropsie ein, aber in der Weise, dass ihrer Grösse nach unbekannte Objecte kleiner erscheinen und in grosse Nähe projicirt werden, dass ihrer Grösse nach bekannte Dinge dagegen in Folge einer Complication mit secundärer Urtheilstäuschung (s. meine Physiologie der Netzhaut p. 329)

kleiner erscheinen und in entsprechend weitere Entfernung projicirt werden. Ich habe derartiges früher bei unvollkommener Lähmung durch Atropin (Förster, Ophthalmologische Beiträge 1862, p. 80) in sehr frappanter Weise beobachtet: ein Mensch in 2—3 Fuss Entfernung, für den ich accommodirte, erschien an der Wand des Zimmers etwa wie eine Photographie. Auch Donders (A. f. Ophthalm. XVII. 2, 1871, p. 27) hat Aehnliches beobachtet. — Mir und den meisten Beobachtern ist es nicht möglich, bei der Accommodation des offenen unbeweglich gerichteten Auges für die Nähe die entsprechende Convergenzbewegung des geschlossenen Auges auszuschliessen — inwiefern die Projection von der Convergenzanstrengung beeinflusst wird, bleibt daher fraglich, allein die Versuche, in welchen das eine Auge schwach atropinisirt wird, beweisen, dass in diesem Falle die Convergenz keinen Einfluss hat. Ich habe (Physiologie der Netzhaut p. 329) schon angegeben, dass ich 30 Minuten nach der Atropinisirung des linken Auges Objecte in etwa 200 Mm. Entfernung mit diesem Auge kleiner gesehen und in grössere Entfernung projicirt habe, als mit dem rechten, obgleich die Convergenz der Augenaxen dieselbe war.

4) Wie die Entfernung, in welche wir beim monocularen Sehen das Netzhautbild projiciren, unbestimmt ist, so ist auch die relative Entfernung, in welche wir verschieden entfernte Theile eines Objectes projiciren, oder in welcher wir sie zu sehen glauben, unsicher und zwar in noch höherem Grade. Donders (A. f. Ophthalm. XIII. 1, p. 37) hat Versuche hierüber in der Weise angestellt, dass ein mit seinem oberen Ende dem Beobachter näherer, mit seinem unteren Ende von dem Beobachter entfernterer geneigter Faden bei der momentanen Beleuchtung mittelst eines Inductionsfunkens monocular gesehen wurde: die Neigung des Fadens wurde nicht erkannt. — Dagegen ist das monoculare Netzhautbild von Objecten, welche durch die Anordnung der Lineamente, der Schattirung und dergleichen den durch frühere Erfahrungen gewonnenen Eindruck, dass sie in der dritten Dimension ausgedehnt sind, machen, geeignet, eine Projection seiner einzelnen Punkte in verschiedene Entfernungen auszulösen. Wir werden darauf in § 63 zurückkommen.

Binoculares Localisiren.

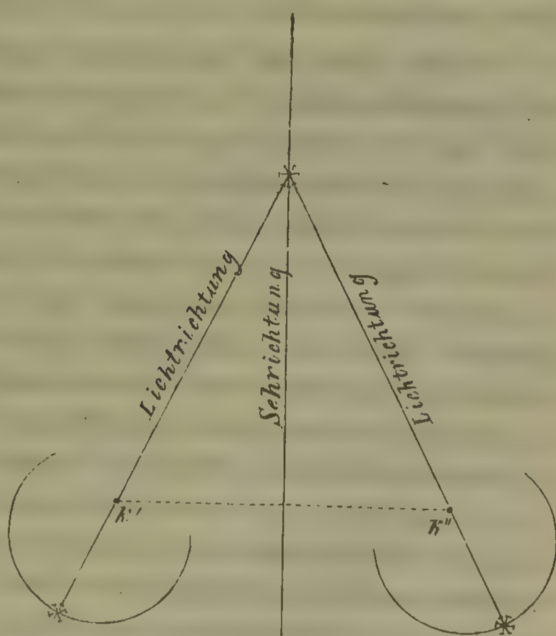
§ 60. **Binoculare Projection und binoculares Einfachsehen.** — Wenn wir unsere beiden Augen auf sehr entfernte Objecte, z. B. den Mond, oder Sterne richten, so macht es keinen Unterschied, wenn wir das eine Auge schliessen oder verdecken für den Fall, dass sich sonst keine Objecte in dem binocularen Gesichtsfelde befinden. Richten wir unsere Augen auf einen näheren Punkt, und nehmen wir an, es befinden sich im binocularen Gesichtsfelde noch verschiedene andere leuchtende Punkte in verschiedener Entfernung von uns, so verändert sich die Anordnung der Punkte sehr bedeutend, wenn wir das rechte, und verändert sich wieder in anderer Weise, wenn wir das linke Auge schliessen oder verdecken. Die Projection unserer Empfindungen ist also jedesmal eine andere, und jede differirt wieder von der Vorstellung, welche wir uns zum Theil auf Grund dieser 3 Projectionen von der Anordnung der leuchtenden Punkte machen, und welche wir der Wirklichkeit congruent setzen. Denken wir uns der Einfachheit wegen nur 3 leuchtende Punkte und diese in der Medianebene gelegen, so sehen wir, wenn wir unsere Augen auf den einen der 3 Punkte richten, jedes-

mal 5 Punkte, von denen je 2 verschwinden, wenn wir das eine Auge schliessen, und zwar 2 andere, wenn wir das linke, und 2 andere, wenn wir das rechte Auge schliessen. Nur der Punkt, auf welchen wir die beiden Augen gerichtet, welchen wir fixirt haben, bleibt unverändert in seiner Lage und wird als ein Punkt gesehen in allen 3 Fällen. Ausserdem ist es allein dieser Punkt, welcher am deutlichsten und ohne Zerstreuungskreise gesehen wird. Diese Momente bestimmen uns, aus den von uns gemachten Projectionen die deutlichste, welche dem leuchtenden Punkte einen Ort anweist, als die für uns massgebende auszuwählen und unsere Bewegungen dieser Projection oder Localisirung gemäss einzurichten — die übrigen Projectionen aber mehr oder weniger zu vernachlässigen oder doch nur so weit zu benutzen, als wir im Stande sind, die Widersprüche mit der massgebenden Projection zu lösen oder zu erklären. Dass wir also aus der Masse der Projectionen eine als massgebend für unsere Vorstellung hervorheben, hat seinen Grund darin, 1) dass nur mit einer sehr kleinen Stelle unserer Netzhaut am schärfsten gesehen wird, 2) dass die Empfindungen an dieser Stelle nur **ein** gemeinschaftliches Localzeichen in unserem Sensorium haben, oder wie man sagt, diese Netzhautpunkte der beiden Augen identische sind, 3) dass unsere Augen für den fixirten Punkt accommodirt sind.

Unter der Herrschaft dieser 3 Momente steht die Localisirung unserer in den Raum projicirten Empfindungen, welche erfahrungsgemäss eine sehr feste, sichere und consequente ist — alle 3 Momente beruhen aber auf einer ganz bestimmten, unveränderlichen Organisation unserer Augen, welche nicht erworben, sondern gegeben ist. Die beiden ersten Momente hat schon Volkmann (Müller's Archiv 1839, p. 240) als für unsere räumlichen Anschauungen wesentliche erkannt.

Wir projiciren also die fixirten Objectpunkte in den Kreuzungspunkt unserer Gesichtslinien und sehen sie unter dieser Bedingung einfach. Da wir sie mit dem rechten und mit dem linken Auge an ein und denselben Ort projiciren, ihre Projection sich nicht ändert, mögen wir binocular oder mit verdecktem einem oder anderem Auge sehen, so folgt daraus, wie Hering (Beiträge zur Physiologie I. 1861, p. 26) gefunden hat, dass wir beim Sehen nicht nach den Richtungslinien (welche Hering »Lichtrichtungen« nennt) projiciren, sondern in einer Richtung, welche von der Mitte zwischen den beiden Augen, der Nasenwurzel aus nach dem Kreuzungspunkte der Gesichtslinien geht. Diese Richtung bezeichnet Hering als »Sehrichtung«. Aus der beistehenden Figur 79 von Hering (l. c. p. 29), in welcher k' k'' die Knotenpunkte der Augen bedeuten, wird Hering's Entdeckung ohne weiteres klar. Der Versuch Hering's, dass der fixirte Punkt seinen Ort nicht verändert, wenn man das eine Auge schliesst (oder

Fig. 79.



besser verdeckt), ist um so frappanter, je näher derselbe dem Beobachter liegt. Wir projiciren also die binocular einfach gesehenen Punkte in solchen Richtungen, als ob unsere beiden Augen ein in der Mitte zwischen ihnen gelegenes Doppelauge wären. HELMHOLTZ nennt das Doppelauge HERING's »Cyclopenauge« (Physiol. Optik p. 611), und die Sehrichtung HERING's »die Richtungslinie des imaginären Cyclopenauges«, in welcher die Punkte des Netzhautbildes nach aussen projicirt werden.

HELMHOLTZ (l. c. p. 612) hat nun einen Versuch angegeben, welcher HERING's Beobachtungen bestätigend zeigt, dass unsere Körperbewegungen diesen Sehrichtungen entsprechend ausgeführt werden, so lange wir unbefangen, wie gewöhnlich, sehen und nicht unsere Aufmerksamkeit absichtlich auf einen veränderten Zustand unserer Augen concentriren:

»Man blicke mit einem Auge nach einem entfernten Objecte und halte vor den unteren Theil des Gesichtes ein Blatt Papier so, dass man die eigenen Hände und Arme nicht sehen kann. Man schiebe dann den Zeigefinger der rechten Hand unter dem deckenden Schirme so in die Höhe, als wollte man nach dem gesehenen Gegenstande hinzeigen. Der Finger wird hinter dem Papier links von dem fixirten Gegenstande zum Vorschein kommen, wenn man mit dem rechten Auge hinblickt, rechts, wenn man mit dem linken sieht — umgekehrt ist der Erfolg, wenn das fixirte Object näher liegt, der Finger in grösserer Entfernung zum Vorschein kommt. — Beim gewöhnlichen Sehen schiebt man den Finger richtig ein zwischen Nasenwurzel und Object.« HELMHOLTZ sagt dann weiter: »Wenn ich meine Aufmerksamkeit auf den Umstand concentrire, dass ich nur mit dem rechten Auge sehe und lebhaft an den Ort des rechten Auges im Kopfe denke, und dann den Finger vorschiebe, um das fixirte Object zu verdecken, so schiebe ich ihn wirklich in der richtigen Richtung vor«.

In gleicher Weise, wie die Bilder der fixirten Punkte, werden von uns aber auch alle Punkte projicirt, welche auf die beiden Gesichtspunkte (die Fusspunkte der Gesichtslinien auf der empfindenden Netzhautschicht, »Kernstellen« von HERING genannt) fallen, nämlich zu einem Punkte vereinigt und in der Sehrichtung projicirt nach dem Orte, wo sich die Gesichtslinien schneiden.

Blickt man bei parallelstehenden Gesichtslinien auf 2 um die Distanz der Augenmittelpunkte von einander entfernte Punkte auf einem Papierblatte, so dass sich also der linke Punkt auf dem Gesichtspunkte des linken Auges, der rechte auf dem Gesichtspunkte des rechten Auges abbildet, so werden die Netzhautbilder der beiden Punkte mitten hindurch zwischen den beiden Punkten auf dem Papier projicirt und zu einem Punkte in grösserer Ferne als der Entfernung des Papiers vereinigt — werden dagegen durch Convergenz der Gesichtslinien die Augen so gestellt, dass der linke Punkt sich auf dem rechten Gesichtspunkte, der rechte Punkt sich auf dem linken Gesichtspunkte abbildet, so werden die beiden Punkte in einen gemeinschaftlichen Punkt vor der Ebene des Papiers und in der Mitte zwischen den beiden Punkten vereinigt. In beiden Fällen bleibt die Sehrichtung dieselbe, als wenn wir einen Punkt auf dem Papier in der Mitte zwischen jenen beiden Punkten fixirt hätten — auch erscheint in allen 3 Fällen der Punkt, welcher auf die Gesichtspunkte fällt, einfach. Aber der einfach gesehene Punkt wird in sehr verschiedene Entfernung projicirt, im ersten Falle hinter, im zweiten in, im dritten vor die Ebene des Papiers.

Dieses letzte Moment hat HERING übersehen, oder wenigstens unterschätzt (s. DONDERS, Archiv f. Ophthalm. 1867, XIII. 1, p. 23 Anm. und 1871. XVII. 2,

p. 2 u. f.), Donders aber hat nachgewiesen, dass die Entfernung, in welche wir beim binocularen Sehen den fixirten oder einfach gesehenen Punkt projiciren, abhängig ist von der Convergenz der Gesichtslinien, wenn auch diese nicht der einzige Factor ist, welcher für die Beurtheilung der Entfernung in Betracht kommt (Archiv für Ophthalmologie XVII. 2, p. 23). Im Ganzen ist die Entfernung, in welche wir projiciren, bestimmt durch die Convergenzwinkel unserer Gesichtslinien oder durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien, welcher mit dem fixirten Punkte zusammenfällt. Wir werden erst in § 63 näher hierauf eingehen.

Dass wir das, was auf den Gesichtspunkten abgebildet wird, einfach sehen, dass diese Punkte identische Punkte sind, ist eine unzweifelhafte Thatsache, für welche es aber keine Erklärung giebt. (cf. Aubert, Physiologie der Netzhaut p. 305. — Helmholtz, Physiol. Optik p. 441, 762, 802.)

Ausser den Gesichtspunkten sind nun noch andere Stellen auf den beiden Netzhäuten vorhanden, deren Erregung an eine Stelle im Raume projicirt wird, d. h. identische Stellen. Wir werden davon in den nächsten Paragraphen handeln, bemerken indess schon hier, dass alles indirect Gesehene viel weniger massgebend ist für die Erfahrungen, welche wir über die Objecte machen, als das durch Fixation Erkannte, und beim gewöhnlichen Sehen auch die Localisation des indirect Gesehenen nur eine vorläufige, zur Controle durch directes Sehen anregende ist. Wir beachten die derartigen Wahrnehmungen erst aufmerksamer, wenn wir die für praktische Zwecke erforderliche Orientirung bei Seite lassen und unsere Empfindungen und Wahrnehmungen an und für sich studiren.

§ 61. Identische und disparate Netzhautpunkte. — Die Netzhautpunkte, deren Bilder in gleicher Weise wie die der Gesichtspunkte auf einen Ort im Raume projicirt werden, werden identische Punkte, oder correspondirende Punkte oder Deckpunkte genannt, diejenigen, bei welchen dies nicht der Fall ist, welche also auf differente Stellen im Raume projicirt werden, disparate Punkte. Wenn man einen Punkt, welcher in der Medianebene gelegen sein mag, fixirt, so erscheinen Punkte, welche vor oder hinter demselben in der Medianebene gelegen sind, doppelt, weil sie sich auf disparaten Stellen der beiden Netzhäute abbilden, oder wie man sagt in Doppelbildern. Und zwar bildet sich der nähere Punkt nach aussen oder lateralwärts von dem Gesichtspunkte, der entferntere Punkt medianwärts davon auf den Netzhäuten ab. In Folge davon verschwindet, wenn das linke Auge geschlossen wird, das linke Bild des entfernteren und das rechte Bild des näheren Punktes: darnach unterscheidet man gleichnamige und ungleichnamige Doppelbilder. Jedes der beiden Doppelbilder wird als Halbbild oder Trugbild von dem einfach erscheinenden Bilde, welches Helmholtz Ganzbild nennt, unterschieden.

Man hat nun verschiedene Methoden angewendet, um die Lage der Deckpunkte auf den Netzhäuten zu ermitteln, 1) die Methode, durch Druck auf die Sklera an möglichst beschränkten Stellen zu ermitteln, von welchen Stellen der Netzhaut aus die Druckbilder (§ 48) auf ein und dieselbe Stelle des Gesichtsfeldes projicirt werden, oder in einen Punkt zusammenfallen. Diese von Purkinje (Beobachtungen I. 1823, p. 142 u. 145), Johannes Müller (Handbuch der Physiologie II. 1840, p. 377), später von Prévost (Essai sur la théorie de la Vision

binoculaire. Genève 1843, p. 6), Meissner (Beiträge zur Physiologie des Sehorgans 1854, p. 72) u. A. angewendete Methode ist bei längerer Fortsetzung der Versuche sehr unbequem und angreifend für die Augen, übrigens in ihrer Anwendung beschränkt und in ihren Resultaten ungenau.

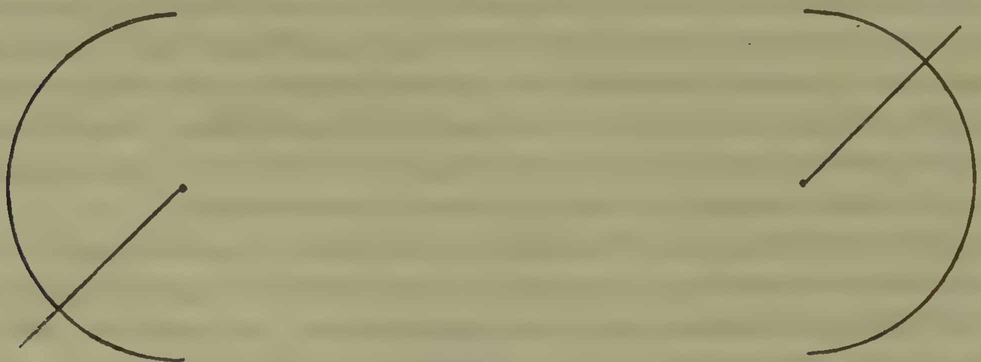
2) Die Methode Prévost's zu beobachten, unter welchen Bedingungen Doppelbilder von einfachen Objecten, Punkten oder Linien gesehen werden und unter welchen Bedingungen die Objecte einfach erscheinen. Diese vielfach angewendete Methode ist viel bequemer und zuverlässiger, setzt aber voraus, dass der Beobachter sicher fixiren, das indirect Gesehene mit Aufmerksamkeit beachten, das Verschmelzen der Doppelbilder leicht bemerken kann, dass er die gewohnheitsmässige Virtuosität im Vernachlässigen eines der Doppelbilder überwunden hat, und dass feine, mit dem Hintergrunde oder der Umgebung gut contrastirende Objecte gewählt werden.

3) Die von Meissner (l. c. p. 15) zuerst benutzte Methode, Doppelbilder von Linien durch Fixiren eines vor denselben gelegenen Punktes zu erzeugen und den Parallelismus oder das Convergiren der Doppelbilder zu beobachten, welche manche Vortheile hat, ist in ihrer Anwendung ziemlich beschränkt, da sie nur für Nahestellungen der Augen benutzt werden kann, und giebt keine ganz zuverlässigen Resultate, wie Hering (Beiträge 1863, p. 211 u. f.) nachweist.

4) Die Methode v. Recklinghausen's (Arch. f. Ophthalm. 1859, V. 2, p. 129), die Kreuzungsbilder von indirect gesehenen Linien, welche auf der Fläche, in welcher der fixirte Punkt liegt, verschoben werden können, in Bezug auf die Veränderung des Kreuzungswinkels zu beobachten, wenn abwechselnd die äusseren und die inneren Netzhauthälften mittelst eines Schirmes verdeckt werden, giebt für einen dem Fixationspunkte nahen Bezirk genaue Resultate.

5) Die Methode Hering's (Beiträge III. 1863, p. 177), bei Parallelstellung der Gesichtslinien 2 Punkte, welche in der Distanz der Augenmittelpunkte von einander auf einer senkrecht stehenden Tafel angebracht sind, in der Projection zu vereinigen, und zu beobachten, ob Linien, welche von den Punkten aus in entgegengesetzter Richtung (z. B. für das linke Auge nach unten links, für das rechte Auge nach oben rechts) gezogen sind, zu einer gleichmässigen geraden, oder zu

Fig. 80.

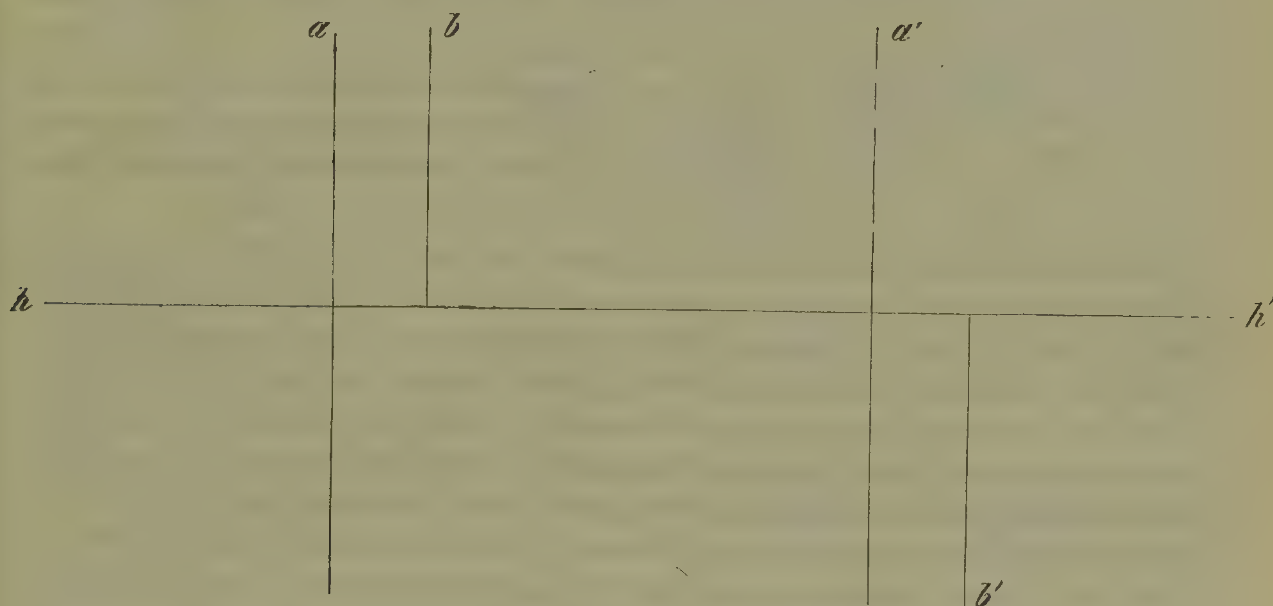


einer geknickten Linie zusammenstossen — oder auch Halbkreise um die zusammenfallenden Punkte zu schlagen, wie in Figur 80, und zu beobachten, ob

dieselben einen geschlossenen Kreis bilden. (cf. Volkmann, Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik II. 1864, p. 236.)

6) Eine Methode von Volkmann (ebendaselbst p. 199), bei welcher gleichfalls 2 Punkte bei Parallelstellung der Gesichtslinien zur Vereinigung gebracht werden, und den durch die Punkte gezogenen Linien eine Richtung gegeben wird (durch Drehung derselben um die Punkte), bei welcher sie einfach erscheinen, oder sie nach Meissner's Methode bei minimaler Convergenz der Augenaxen parallel erscheinen zu sehen und dann den Winkel abzulesen, um welchen die Linien gegen einander geneigt sind. Eine Modification dieser Methode hat Volkmann in der Art gemacht, dass eine Horizontallinie *hh'* Figur 81 von 2 Senkrechten *aa'* ge-

Fig. 81.



schnitten wird, deren gegenseitige Distanz der Entfernung der parallelen Augenaxen entspricht. Von den beiden Halblinien *b* und *b'* ist *b* fest, *b'* verschiebbar in horizontaler Richtung: die Aufgabe für den Beobachter ist, *b'* so zu stellen, dass wenn *a* und *a'* zusammenfallen, auch der obere Punkt von *b'* mit dem unteren Punkte von *b* zusammentrifft. Der Apparat kann um 90° gedreht werden, so dass *hh'* vertical wird. (cf. Helmholtz, Physiol. Optik p. 701 und 705.)

Endlich ist noch 7) eine Methode von Hering (Beiträge p. 182) anzuführen, bei welcher man in dem einen, z. B. linken Auge, welches den Mittelpunkt eines gegen den Grund lebhaft contrastirenden Kreises fixirt, ein Nachbild dieses Kreises erzeugt, dann das Auge schliesst und mit dem rechten Auge einen Punkt auf mattem schwarzen Papier, um welchen herum Marken eines dem erstbenutzten gleichen Kreises angebracht sind, fixirt: das Nachbild deckt dann die Marken des Kreises bei bestimmter Augenstellung. — Ueber den Donders'schen Apparat, das Isoscop, sind die nothwendigsten Angaben in § 70 zu Ende gemacht worden.

In Bezug auf die Lage der identischen Punkte oder der Deckpunkte auf den Netzhäuten hat sich nun Folgendes ergeben:

Im Allgemeinen sind Deckstellen der Netzhäute diejenigen Stellen, welche sich decken, wenn man die beiden Netzhäute so über einander gelegt denkt, dass ihre horizontalen und verticalen

Meridiane zusammenfallen — oder das, »was von der Mitte der Retina in gleicher Richtung gleich weit entfernt ist.« Dieser Satz ist schon von JOHANNES MÜLLER (Handbuch der Physiologie 1840, p. 378) aufgestellt worden und hat sich bei den sehr genauen Messungen VOLKMANN's nach Methode 6 (Physiol. Unters. p. 233) bewährt gefunden — nur ist in Bezug auf die Identität der horizontalen und verticalen Meridiane der Satz zu modificiren. Nach HERING (Beiträge 1863 [April] p. 175), HELMHOLTZ (Verhandlungen des Heidelberger medicinisch-naturhistorischen Vereins vom 3. Mai 1863 und Arch. f. Ophthalm. 1863, IX. 2, p. 189), VOLKMANN (Berliner Akademie-Berichte 13. August 1863, p. 394), welcher letztere bald darauf grosse Reihen genauer Messungen mitgetheilt hat (Physiol. Unters. II. 1864, p. 149—240), decken sich die verticalen Meridiane nicht, sondern divergiren um etwa 2° nach oben.

MEISSNER (Beiträge 1854, p. 24) hat die sich deckenden verticalen Linien »verticale Trennungslinien« genannt, auch VOLKMANN (l. c. p. 198), HERING (Binoculares Sehen 1868, p. 88) u. A. haben den Ausdruck beibehalten; HELMHOLTZ gebraucht dafür die Bezeichnung »scheinbar verticale Meridiane«. —

Sehr ausführliche Untersuchungen sind über die Lage der verticalen Trennungslinien oder scheinbar verticalen Meridiane von VAN MOLL (Onderzoekingen in het Physiol. Laborat. te Utrecht 1874, Derde Reeks III. 1, p. 39) und kürzlich von DONDERS (ibid. 1875, III. 2, p. 45) angestellt worden, aus denen sich ergiebt, 1) dass bei verschiedenen Individuen die Winkel, welche die verticalen Trennungslinien mit den verticalen Meridianen bilden (als Winkel *V* bezeichnet) erheblich differiren, bei den 19 von VAN MOLL untersuchten Personen von 0°,093 bis 2°,54 — bei DONDERS selbst beträgt Winkel *V* sogar 3°,304 im Mittel; 2) dass bei allen bisher untersuchten Personen die verticalen Trennungslinien nach oben divergiren (Winkel *V* wird in diesem Falle positiv gerechnet); 3) aus DONDERS' Bestimmungen mittelst des Isoscops (s. § 70 zu Ende) hat sich ferner die wichtige Thatsache ergeben, dass die Lage der verticalen Trennungslinien oder der Winkel *V* bei ein und demselben Individuum und genau derselben Augenstellung nicht constant ist, vielmehr verschieden gefunden wird *a*) an verschiedenen Tagen, sich ferner verändert *b*) im Laufe eines und desselben Tages, *c*) in Folge von vorhergehenden Bestimmungen, *d*) in Folge einer längeren oder kürzeren Dauer für die Einstellung der beobachteten Linien, *e*) unter dem Einflusse von Neigung der beobachteten Linien, *f*) unter dem Einflusse gleichzeitig vorhandener horizontaler oder geneigter Linien. — Das Minimum in allen Donders'schen Bestimmungen beträgt für Winkel *V* bei ihm selbst 2°,6, das Maximum 4°,85.

Diese Beobachtungen von DONDERS sind von fundamentaler Wichtigkeit für die Bestimmungen der Lage der Trennungslinien bei verschiedenen Stellungen und bei Bewegungen der Augen (s. § 72 und 73).

Auch für die horizontalen Meridiane hat VOLKMANN eine kleine Divergenz von etwa 0°,5 gefunden, in entgegengesetztem Sinne, wie bei den verticalen Meridianen. — Auch VAN MOLL und DONDERS haben die Divergenzen der horizontalen Trennungslinien bestimmt.

Mit Berücksichtigung dieser Bestimmungen drückt nun Helmholtz den Müller-schen Satz von den identischen Punkten folgendermassen aus:

D e c k p u n k t e s i n d d i e j e n i g e n P u n k t e b e i d e r S e h f e l d e r, w e l c h e g l e i c h e u n d g l e i c h g e r i c h t e t e A b s t ä n d e v o n d e n s c h e i n b a r h o r i z o n t a l e n u n d s c h e i n b a r v e r t i c a l e n D e c k l i n i e n h a b e n.

Alle Punkte nun, welche wirklich binocular gesehen werden und nicht auf Deckpunkte fallen, werden doppelt gesehen, wenn sie in eine auf den Gesichtslinien oder auf der Visirebene senkrechte Ebene projicirt werden — was beim gewöhnlichen Sehen aber nur der Fall ist, wenn sie ziemlich weit entfernt von Deckpunkten liegen. Wir kommen darauf in § 63 zurück.

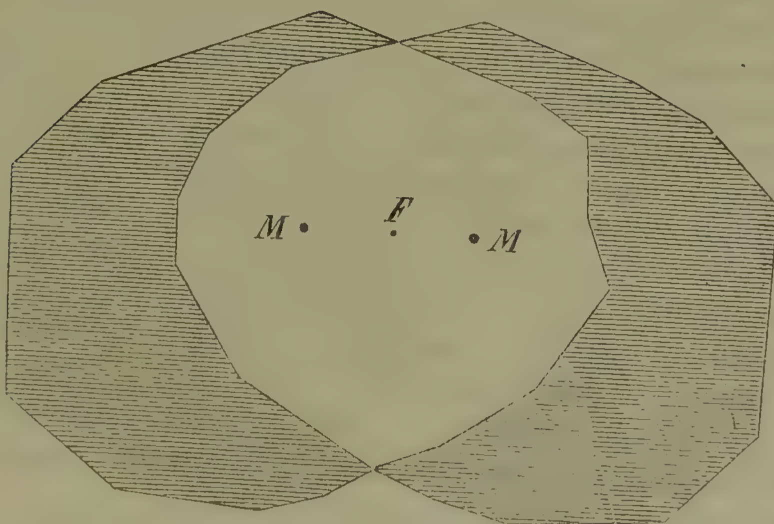
Der Versuch, durch welchen Wheatstone (Poggendorff's Annalen 1842, Ergänzungsband p. 30) nachweisen zu können glaubte, dass mit correspondirenden Stellen doppelt gesehen werden könnte, hat durch Hering's Analyse (Beiträge 1862, II. p. 81 u. f.) alle Beweiskraft verloren. Der Versuch besteht darin, dass im Stereoscop dem linken Auge das Bild einer starken verticalen Linie, dem rechten Auge das Bild einer schwachen verticalen und einer starken die Verticale unter einem Winkel von etwa 10° durchkreuzenden starken Linie, wie in Figur 82 geboten wird: bei nicht besonders aufmerksamer Beobachtung fallen im Sammelbilde die beiden starken, nicht die beiden verticalen Linien zusammen, und die schwache Linie erscheint geneigt von vorn nach hinten. Bei aufmerksamer Beobachtung und Bezeichnung der zusammenfallenden Linien durch besondere Marken überzeugt man sich aber, dass die beiden verticalen Linien zusammenfallen. (cf. Aubert, Physiologie der Netzhaut p. 321.)

Fig. 82.



Ich bemerke übrigens, dass der Theil des Gesichtsfeldes, eines Auges, mit welchem binocular gesehen wird, kleiner ist, als der Theil, mit welchem nur

Fig. 83.



monocular gesehen werden kann. Möser (Das Perimeter und seine Anwendung. Inaug. Diss. Breslau 1869) hat unter Förster's Leitung die Begrenzung des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes ermittelt und eine Begrenzung desselben gefunden,

wie sie der weissgelassene Theil der Figur 83 wiedergiebt, während die schraffirten Flächen die monocularen Gesichtsfelder darstellen. *F* bedeutet den Fixationspunkt, *MM* die Mariotte'schen Flecke.

§ 62. Der Horopter. — Man hat nun denjenigen Bezirk des äusseren Raumes zu ermitteln gesucht, dessen Punkte sich auf identischen Stellen oder Deckstellen abbilden, und diesen Bezirk als Horopter bezeichnet. Aguilonius (Opticorum libri sex. Antwerpae 1613, s. Meissner, Beiträge 1854, p. 1), der den Namen erfand, glaubte, dass in einer durch den fixirten Punkt gelegten geraden, zu der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallelen Linie das Einfachgesehene läge, — Vieth (Gilbert's Annalen der Physik 1818, Bd. 58, p. 233) und Johannes Müller (Physiologie des Gesichtssinnes 1826, p. 71) construirten den Horopter als eine Kreislinie, welche durch den fixirten Punkt und die Kreuzungspunkte der Richtungslinien ginge, ohne den Verticalhoropter zu construiren, was erst Prévost (Essai sur la théorie de la Vision binoculaire. Dissertation Genève 1843) that. Erst Meissner (Beiträge zur Physiologie des Sehorgans 1854) wies nach, dass der Horopter nicht etwas Constantes, sondern eine von der Stellung der Augen abhängige Begrenzung im Raume sei und suchte ihn für die verschiedenen Augenstellungen zu ermitteln theils durch Construction, theils durch Beobachtung. Das Problem des Horopters wurde dann von Hering (Beiträge zur Physiologie 1863, 3. Heft), Helmholtz (Archiv f. Ophthalmologie 1863, X. 1, p. 1) und Hankel (Poggendorff's Annalen 1863, Bd. 122, p. 575) gelöst. Die Construction des Horopters als des Inbegriffes derjenigen Punkte des Raumes, welche auf den experimentell ermittelten Deckstellen des Sehfeldes sich abbilden, ist eine rein mathematische Aufgabe. Den so gefundenen Horopter bezeichnet Hering als mathematischen Horopter im Gegensatze zu dem durch directe Versuche nachzuweisenden empirischen Horopter.

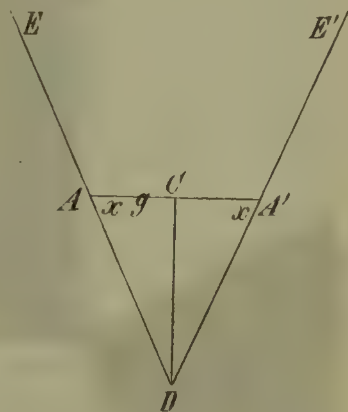
Die Construction des mathematischen Horopters ist auszuführen für die verschiedenen Augenstellungen, deren Meissner unterscheidet 1) Primärstellung: Gesichtslinien (oder Visirlinien) parallel und horizontal, senkrecht auf der Grundlinie (Verbindungslinie der Knotenpunkte); 2) Secundärstellungen: Convergenz der Gesichtslinien in der Medianebene; 3) Tertiärstellungen: Convergenz der Gesichtslinien, ausserhalb der Medianebene. Indem wir der geometrischen Construction Hering's folgen, bezeichnen wir nach ihm die horizontale Trennungslinie als mittlen Querschnitt, die verticale Trennungslinie als mittlen Längsschnitt, die durch sie und den Knotenpunkt gelegten Ebenen als Quer- und Längsebene; diese Ebenen um zur Gesichtslinie senkrechte in ihnen und durch den Knotenpunkt gelegte Axen gedreht heissen Nebenquerschnitte, bezw. Nebenlängsschnitte. Die Orte, in welchen die identischen Längsebenen sich schneiden, bilden den Horopter der Längsschnitte, die Schnittpunkte identischer Querebenen den Horopter der Querschnitte. Die beiden Horopteren gemeinsamen Punkte bilden den eigentlichen Horopter oder den Horopter der Deckstellen.

1) In der Primärstellung der Augen (unter Annahme verticaler Längsschnitte) schneiden sich alle Richtungslinien in unendlicher Ferne: der Horopter ist eine auf den Richtungslinien senkrechte, unendlich ferne Ebene.

Wenn, wie es meistens der Fall zu sein scheint, bei dieser Augenstellung

die verticalen Trennungslinien oder die mittlen Längsschnitte nicht parallel sind, sondern (um etwa 2°) nach oben divergiren — so convergiren je zwei identische Längsebenen nach unten und schneiden sich in einer der Visirebene (oder Blickebene) parallelen Ebene, deren Abstand von der Visirebene abhängt von dem Convergenzwinkel der mittlen Längsebenen. Der Abstand ist aber gleich der halben Grundlinie g, multiplicirt mit der Tangente des Neigungswinkels der mittlen Längsebene gegen die Visirebene x. Entsprechen in Figur 84 DE und DE' der Neigung der mittlen Längsebene, ist AA' die Grundlinie, AC also $= g$, und x der Neigungswinkel der mittlen Längsebene zur Visirebene oder Grundlinie, so ist $CD = g \cdot \operatorname{tang} x$. — Convergiren auch die Querebenen nach oben (oder unten), so schneiden sie sich in der Medianebene, welche den Horopter der Querschnitte darstellt. Längshoropter und Querhoropter schneiden sich dann in einer der Medianebene angehörigen und der Visirebene parallelen Linie, deren Abstand von der Visirebene nach unten $= g \cdot \operatorname{tang} x$ ist, und den Horopter der Deckstellen bildet.

Fig. 84.



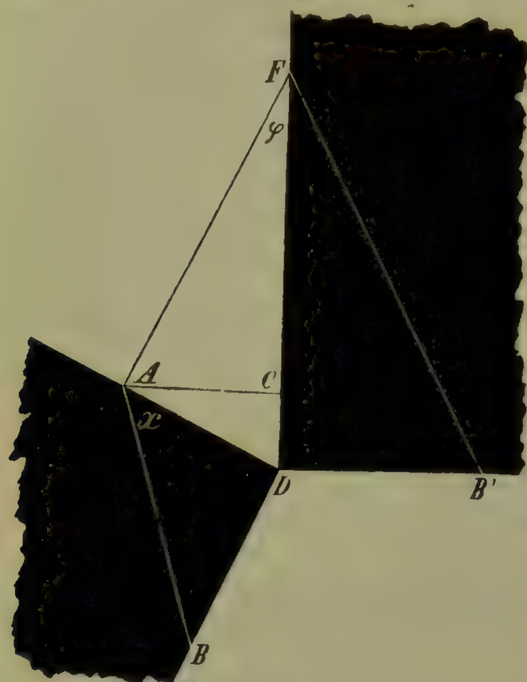
Nach Helmholtz (Physiol. Optik p. 715) würde für ihn selbst diese Horopterlinie in die Fussbodenfläche fallen, für andere Beobachter auch ungefähr — nach den von Hering (Beiträge V. 1864, p. 348) der Berechnung zu Grunde gelegten Werthen würde der Horopter mehr oder weniger tief unterhalb der Fussbodenfläche liegen. Auf die Bedeutung dieser Lage des Horopters kommen wir noch zurück.

2) Secundärstellung mit Convergenz der Gesichtslinien in der Medianebene. Bei senkrechter Lage der Längsschnitte zur Visir- oder Blickebene schneiden sich je 2 identische Längsebenen in einer zur Blickebene verticalen Linie: die Durchschnittsstellen bilden einen Cylindermantel, welcher die Blickebene senkrecht durchschneidet in einem durch den fixirten Punkt und die Knotenpunkte gehenden Kreise. Der Horopter der Querschnitte wird gebildet durch die Blickebene, in welcher die mittlen Querschnittsebenen zusammenfallen und durch die Medianebene, in welcher sich die übrigen Nebenquerschnittsebenen schneiden. Wo der Cylindermantel der Längsschnitte von der Blickebene und Medianebene (dem Horopter der Querschnitte) geschnitten wird, da liegt der Horopter der Deckstellen, welcher also einen Kreis (Johannes Müller's Horopter) und eine verticale Gerade (Prévost), welche durch den Fixationspunkt geht, bildet.

Convergiren bei dieser Blickrichtung die verticalen Trennungslinien oder mittlen Längsschnitte nach unten, so schneiden sich die entsprechenden Längsebenen in einer zur Blickebene geneigten Geraden, und die Gesammtheit der Durchschnittslinien bildet den Mantel eines schiefen Kegels, welcher die Blickebene in einem durch den Fixationspunkt und die Knotenpunkte gehenden Kreise durchschneidet, und dessen Spitze in der Medianebene senkrecht unter dem hintern Durchschnittspunkte dieses Kreises und der Medianebene gelegen ist. Die Entfernung der Kegelspitze von diesem Punkte ist abhängig von der Länge der Grundlinie, dem Convergenzwinkel der Gesichtslinien und dem Neigungs-

winkel der mittlen Längsschnitte (verticalen Trennungslinien). Bezeichnen wir wieder mit g die halbe Grundlinie, mit x den Neigungswinkel der mittlen Längsschnitte zur Blickebene und mit 2φ den Convergenzwinkel der Gesichtslinien, so ist der Verticalabstand der Kegelspitze von der Blickebene $= \frac{g \cdot \operatorname{tang} x}{\cos \varphi}$.

Fig. 85.



Es sei in Figur 85 F der Fixationspunkt, A der Knotenpunkt des linken Auges, C der Mittelpunkt der Grundlinie, DF die Medianlinie, $\angle AFC$ der halbe Convergenzwinkel $= \varphi$ und die Ebene des Papiers die Blickebene. Die schwarzen Flächen denke man sich senkrecht zur Blickebene aufgerichtet, so dass B und B' in einen Punkt, welcher über D gelegen ist, zusammenfallen; AB ist dann die Axe der Längsebene, und $\angle DAB = x$ der Neigungswinkel des mittlen Längsschnittes zur Blickebene, $B'F$ die Durchschnittslinie der mittlen Längsebenen, und der Neigungswinkel derselben zur Medianlinie $\angle B'FD$ sei $= n$.

Dann ist $DF = \frac{DA}{\sin \varphi}$, $DB = DA \cdot \operatorname{tang} x$
und da $DB = DB'$, DB' aber $= DF \cdot \operatorname{tang} n$,
so ist $\frac{DB'}{DF} = \frac{DA \cdot \operatorname{tang} x}{\frac{DA}{\sin \varphi}} = \operatorname{tang} x \cdot \sin \varphi$.

DB aber ist der Verticalabstand der Kegelspitze von der Blickebene; nun
ist $DA = \frac{AC}{\cos \varphi}$ (da $\angle DAC = \angle AFC = \varphi$)
und da $BD = DA \cdot \operatorname{tang} x$,
so ist $BD = \frac{AC \cdot \operatorname{tang} x}{\cos \varphi}$, und da $AC = g$,
so ist der Verticalabstand der Kegelspitze $BD = \frac{g \cdot \operatorname{tang} x}{\cos \varphi}$.

Der Horopter der Querschnitte liegt in der Medianebene oder fällt mit derselben zusammen, indem je 2 identische Querebenen sich in einer in der Medianebene liegenden, zur Blickebene verschieden geneigten Geraden schneiden. Diese schneidet den Kegelmantel der Längsschnitte in einer zur Blickebene unter einem Winkel geneigten Geraden, dessen Tangente $= \sin \varphi \cdot \operatorname{tang} x$ ist. In Figur 85 ist dies der Winkel $DFB' = n$, dessen Tangente $= \frac{B'D}{DF}$. Nun ist $\frac{AD}{DF} = \sin \varphi$, $\frac{BD}{AD} = \frac{B'D}{AD} = \operatorname{tang} x$, folglich $\frac{B'D}{DF} = \sin \varphi \cdot \operatorname{tang} x$, folglich $\operatorname{tang} n = \sin \varphi \cdot \operatorname{tang} x$. Diese Linie, der Horopter der Deckpunkte ist mit dem oberen Ende von der Antlitzfläche weggeneigt, wenn die Trennungslinien nach unten convergiren.

3) Bei unsymmetrischen Convergenzstellungen, wenn der fixirte Punkt nicht in der Medianebene liegt, wird bei den dann noch stärker convergirenden und

ungleich geneigten Trennungslinien sowohl der Horopter der Längsschnitte als der der Querschnitte eine Curve höherer Ordnung und ihr Durchschnitt eine im Raume gewundene Linie, wegen deren Construction wir auf die genannten Abhandlungen verweisen.

Eine weitere Verfolgung des Horopterproblems unterlasse ich, da dieselbe weder ein physiologisches, noch ein ophthalmologisches Interesse hat. Der Satz, den v. Recklinghausen (Arch. f. Ophthalm. 1859, V. 2, p. 146) aufgestellt hat: »der Horopter als Inbegriff sämmtlicher einfach wahrgenommener Punkte des Raumes scheint mir sehr unwesentlich zu sein«, ist noch nicht widerlegt. Im Sinne von v. Recklinghausen ist zu berücksichtigen, dass der Bereich des deutlichen und scharfen Sehens ein sehr kleiner ist, dass die Distinctionsfähigkeit von der *Fovea centralis* her schneller abnimmt, als die Distanz der Doppelbilder in vielen Fällen zunimmt — dass wir ferner eine grosse Virtuosität in der Vernachlässigung der Doppelbilder haben, — dass ausserdem die Form des Horopters bei der fast ununterbrochenen Veränderung unserer Augenstellung und Kopfhaltung immerfort wechseln muss, und dass, da wir uns dieser Veränderungen nicht oder nur sehr unvollkommen bewusst werden, daraus eher eine Verwirrung als eine Verbesserung der Orientirung beim Sehen hervorgehen muss.

Nur eine Beziehung der Form des Horopters für das Sehen hat Helmholtz (Arch. f. Ophthalm. 1864, X. 1, p. 33 und Physiol. Optik p. 725) zu finden geglaubt, nämlich die richtigere Projection der Fussbodenfläche und die feinere Unterscheidung des Reliefs auf derselben. Für die Kenntniss der Lage oder Neigung der Fussbodenfläche kann die Lage der Horopterlinie wohl kaum in Betracht kommen: dass die Projection der Fussbodenfläche sich ändert, wenn man den Kopf stark nach einer Seite neigt, oder zwischen den Beinen hindurch sieht, oder auf dem Kopfe steht, oder die Fussbodenfläche durch Spiegelung in rechtwinkligen Prismen um 180° gedreht sieht, hat seinen Grund wohl darin, dass wir geneigt sind, alles auf der Netzhaut oberhalb der *Fovea centralis* Gelegene näher, das unterhalb derselben Gelegene ferner zu sehen (Förster, Jahresbericht der Schlesischen Gesellschaft 1859, p. 113 und Ophthalmologische Beiträge 1862, p. 86 — Hering, Beiträge V. 1864, p. 355). Auch für mich ist es gleich, ob ich unter diesen Bedingungen ein Auge schliesse, oder mit beiden Augen sehe. — Anderseits wird aber das Relief oder die relativen Entfernungen der Unebenheiten der Fussbodenfläche genauer erkannt werden können, wenn dieselbe in der Nähe des Horopters liegt, denn die Erkenntniss der Tiefendimension ist von der Genauigkeit abhängig, mit welcher wir im Stande sind, die Punkte im Raume einfach zu sehen. Ich finde auch in der That, dass für die Sicherheit, oder eigentlich die Unbekümmertheit beim Gehen von sehr merklichem Einflusse ist, ob ich nur mit einem oder mit beiden Augen sehe, ob ich mit gewöhnlicher Kopfhaltung oder mit stark nach hinten geneigtem Kopfe gehe.

An Versuchen, welche die Bedeutung des Horopters beim Sehen in einer den theoretischen Constructionen und Berechnungen desselben adäquaten Exactheit nachwiesen, fehlt es bis jetzt.

§ 63. Wahrnehmung der Entfernung und der Tiefendimension. — Wenn wir unsere Empfindungen nach aussen in den Raum setzen, so

ist damit zugleich gesagt, dass wir sie in irgend eine Entfernung projiciren. Wir haben schon in § 59 und § 60 darauf hingewiesen, dass die Entfernung beim monocularen Sehen ziemlich unsicher beurtheilt wird, dass wir aber beim binocularen Sehen die Objecte in dem Kreuzungspunkte der Gesichtslinien sehen. Man bezeichnet die Entfernung eines Objectes von dem Beobachter als die absolute Entfernung desselben und unterscheidet davon die relative Entfernung, worunter man die Entfernung, welche Punkte in der dritten Dimension von einander haben, versteht; gehören diese Punkte ein und demselben Objecte an, so braucht man dafür den Ausdruck »Tiefendimension« des Objectes oder des Körpers. — Man versteht ferner unter der Beurtheilung der Entfernung oder Wahrnehmung der Entfernung das Verhältniss der Entfernung, in welche wir unsere Empfindungen projiciren zu der sogenannten wirklichen Entfernung des Objectes, d. h. der Entfernung, welche wir durch sämmtliche uns zu Gebote stehenden Erfahrungen ermitteln.

In Bezug auf die absolute Entfernung, in welche wir unsere Empfindungen projiciren, lässt sich nachweisen, dass dieselbe in erster Linie abhängig ist von der Convergenz unserer Gesichtslinien. Wir können, worauf schon Lehot (Fechner, Repertorium für Physik 1832, p. 229) aufmerksam gemacht hat, ein Nachbild, z. B. von der Sonne in eine grössere oder geringere Entfernung projiciren, und es demgemäss grösser oder kleiner sehen, je nachdem wir unsere Augenaxen oder Gesichtslinien wenig oder stark convergiren lassen. Hermann Meyer in Zürich (Archiv für physiologische Heilkunde 1842, I. p. 316) hat folgenden sehr einfachen Versuch angegeben: blickt man durch das Geflecht eines Rohrstuhles nach dem Fenster, so erscheinen die Maschen entfernt in der Nähe des Fensters und sehr gross, blickt man auf eine in der Gegend des Nahepunktes vor dem Rohrstuhle gehaltene Bleistiftspitze, so erscheinen die Maschen des Rohrstuhles nahe und klein, nämlich in der Ebene des fixirten Punktes oder des Punktes, in welchem die Gesichtslinien sich schneiden. Obgleich der Versuch auch beim Sehen mit einem Auge dasselbe Resultat giebt, so fühlt man dabei doch gleich deutlich, dass die Augen beim Fixiren des nahen Objectes stärker convergiren. Dass bei geschlossenem einen Auge doch die der Entfernung adäquate Convergenzstellung angenommen wird, hat auch Donders (A. f. Ophthalm. 1871, XVII. 2, p. 24) nachgewiesen. Am sichersten geht dies aus den Convergenzbewegungen künstlicher oder erblindeter Augen hervor. Hermann Meyer (Poggendorff's Annalen 1852, Bd. 85, p. 198) hat nachgewiesen, dass Objecte bei Convergenz der Gesichtslinien näher erscheinen bei Ausschluss der Accommodation: werden in einem Wheatstone'schen Spiegelstereoscop (s. § 64) die Zeichnungen den Spiegeln ferner gerückt, wobei die Spiegelbilder für die beiden Augen ferner rücken, so erscheint das Sammelbild näher und kleiner und die Augenaxen convergiren stärker. Noch einfacher lässt sich der Versuch machen, wenn man ein Paar Stereoscopbilder auseinander schneidet und dieselben durch Convergenz der Gesichtslinien zum Sammelbilde vereinigt (§ 64): das Sammelbild rückt näher, als die Ebene der Bilder ist, für die man gleichwohl accommodirt bleibt. Je weiter man nun die beiden Bilder von einander fortschiebt, um so näher rückt das in der Luft schwebende Sammelbild. Statt der Stereoscopbilder kann man auch Münzen, Briefmarken und dergleichen benutzen, welche, auf dem Tische um die doppelte Distanz der Augenmittelpunkte von ein-

ander entfernt liegend, förmlich in die Höhe zu springen scheinen (Donders), wenn man sie durch Convergenz der Gesichtslinien zum Sammelbilde vereinigt.

Noch frappanter ist die Annäherung, wenn man auf einen gleichmässigen Grund ein Paar Briefmarken in 200 Mm. Distanz von einander aufklebt, und aus etwa 500 Mm. Distanz zum Sammelbilde vereinigt: es erscheint dann eine Briefmarke in der Luft schwebend und erheblich kleiner und dieses Luftbild scheint nachzuschweben, wenn man sich von den Objecten entfernt und von dem Beobachter fortzuschweben, wenn man sich nähert. Bei grösserer Annäherung als 500 Mm. wird die Convergenz anstrengend und es kann durch secundäre Urtheilstäuschung, indem die Grösse des Sammelbildes massgebend wird, Projection in grosse Entfernung eintreten, bei mir namentlich, wenn ich die angestrengte Convergenz einige Zeit gewaltsam festhalte. Ein Anderer kann dabei die Convergenzen der Augen des Beobachters sehr deutlich controliren.

Donders (Archiv für Ophthalm. 1871, XVII. 2, p. 16) hat nun nachgewiesen, dass wir nach der erforderlichen Convergenz unserer Gesichtslinien über die Entfernung urtheilen, und zwar sehr genau, und dass wir demgemäss unsere Bewegungen dirigiren. Bei Ausschluss aller die Orientirung begünstigenden Momente wird ein leuchtender Punkt, der sich in einer gewissen Entfernung von den Augen befindet, in richtige Entfernung projicirt und mit dem Finger bis auf etwa 3% Differenz im Mittel sicher getroffen.

Donders' Versuche waren folgendermassen angeordnet: Der Beobachter befindet sich in einem völlig dunklen Kasten, bei fixirtem Kopfe, und sieht nach einem durch sehr kleine Inductionsfunken hervorgebrachten leuchtenden Punkte: er hat die Aufgabe, mit seinem mit Kautschuck bekleideten Zeigefinger der rechten Hand den Funken zu treffen. Unmittelbar nach der ausgeführten Bewegung wird das Tageslicht zugelassen und der Abstand der Fingerspitze von dem Lichtpunkte gemessen. Die Entfernung des Lichtpunktes von den Augen variirte zwischen 65 Mm. und 610 Mm., ausserdem variirte die Intensität der Inductionsfunken, indem die Rolle verschoben wurde. In verschiedenem Sinne wurde die Entfernung unrichtig geschätzt und zwar in 31 Bestimmungen 20 Mal zu gross, 9 Mal zu klein und 2 Mal ohne Fehler; die mittlere Fehlweisung betrug für die 20 Bestimmungen 12,4 Mm. oder 4,2%, für die 9 Bestimmungen 10,8 Mm. = 2,4%. Dass die Fehlweisung nicht allein auf Rechnung des Sehens, sondern auch auf Rechnung der Bewegung des Fingers und wohl überwiegend auf diese zu setzen ist, scheint aus Versuchen geschlossen werden zu müssen, in welchen bei offenem beleuchtetem Kasten die Elektroden gesehen, dann die Augen geschlossen werden, und nun wieder mit dem Finger der Punkt zwischen den Elektroden getroffen werden soll. Die Fehlweisung beträgt auch hier im Mittel 10,7 Mm.; unter 21 Fällen ist der Finger 15 Mal zu weit, 5 Mal zu nah, 1 Mal richtig eingestellt worden. — In diesen Versuchen ist allerdings der Einfluss der Accommodation nicht ausgeschlossen; nach den in § 59 angegebenen Versuchen von Wundt ist derselben wohl kein erheblicher Einfluss auf die Donders'schen Bestimmungen zuzuschreiben.

Wenn wir nun als festgestellt ansehen, dass wir die Entfernung eines Punktes nach der Convergenz unserer Gesichtslinien beurtheilen, so ist damit das Problem der Wahrnehmung der absoluten Entfernung noch keineswegs gelöst, vielmehr ist nun die weitere Frage: auf welche Weise erhalten wir die genaue Kenntniss von der jedesmaligen Convergenzstellung? Von unserm Muskelgefühl, d. h. von dem Grade der Zusammenziehung unserer Muskeln haben wir nur eine ziemlich unbestimmte Kenntniss und erhalten durch dasselbe jedenfalls keinen directen Aufschluss über die Augenstellung, noch über die Grösse und Richtung der Bewegung. (Volkmann, Physiologische Untersuchungen 1864,

II. p. 188.) Man nimmt aber an (Förster, Ophthalmologische Beiträge 1862, p. 75 Anm. — Hering, Archiv für Ophthalm. 1868, XIV. 1, p. 10. — Donders, Arch. f. Ophthalm. 1871, XVII. 2, p. 13), dass das Bewusstsein von der Bewegungsinnervation, d. h. von dem Impulse, welchen wir unseren Bewegungsorganen zukommen lassen, massgebend ist für die Localisation des Wahrgenommenen, und Donders bezeichnet diese Bewegungsinnervation in Bezug auf die Wahrnehmung der Entfernung als Entfernungsinnervation (l. c. p. 16). Diese Innervation muss aber selbst offenbar ein πρότερον haben, und wir werden uns vorstellen können, dass dieselbe in allernächster Beziehung zu Empfindungen und Vorstellungen steht, welche uns zu Convergenz- oder Divergenzbewegungen veranlassen, so dass also, wie Hering (Beiträge 1864, V. p. 344) betont, die Bewegungen der Convergenz erst die Folge jener Empfindungen oder Vorstellungen sind. Donders drückt dies so aus: »nach dem Urtheile über die Entfernung regeln wir umgekehrt die Bewegungsinnervation.« Er führt verschiedene Versuche an, in denen bei geschlossenen Augen die Vorstellung von dem Orte eines Objectes erregt wird, und dann bei der Oeffnung dieselben auf diesen Ort eingestellt sind. (cf. Helmholtz, Physiol. Optik p. 613.) Wenn wir eine Summe von irgendwie gemachten Erfahrungen von Vorstellungen über Entfernungen voraussetzen, so werden wir allenfalls einen Ausgangspunkt für unsere Bewegungsinnervationen gewinnen und uns dabei beruhigen können, dass der Erfolg unserer Bewegungen immerfort wieder von Empfindungen und Wahrnehmungen controlirt wird. Ich muss aber doch hervorheben, dass wir dann gänzlich darauf verzichten zu erklären, wie wir zu Erfahrungen oder zu der ersten Vorstellung einer Entfernung kommen. Ich muss zweitens hervorheben, dass das Wort Bewegungsinnervation an Klarheit fast auf gleicher Stufe steht, wie das Wort Muskelgefühl, und nur eine Umschreibung der Thatsache ist, dass wir unsere beweglichen und empfindlichen Körpertheile unsern Zwecken gemäss bewegen. Der eingeschlagene Weg ist gewiss der richtige, aber die »Bewegungsinnervation« kann nur den Werth einer vorläufigen Bezeichnung der Richtung, welche die Untersuchung zu nehmen hat, beanspruchen, sie ist an sich eine fast unbekannte, für sich zu erforschende Grösse. — Wenn Hering (Beiträge V. p. 324 u. 345) zur Erklärung dieses Problems besondere »Tiefengefühle«, oder überhaupt einfache Raumgefühle für die Höhen-, Breiten- und Tiefenwerthe den einzelnen Netzhautstellen beilegt, so ist auch dies, wie Donders (Arch. f. Ophthalm. 1867, XIII. 1, p. 42 Anm.) sagt, nur eine Umschreibung der Thatsachen, aber keine Erklärung. — Meiner Ansicht nach ist die oben gestellte Frage, wodurch wir Kenntniss von unseren jeweiligen Convergenzstellungen erhalten, noch nicht beantwortet.

Was von der Wahrnehmung der absoluten Entfernung gilt, wird auch mutatis mutandis Anwendung finden auf die Wahrnehmung der relativen Entfernung, d. h. der verschiedenen Entfernung zweier oder mehrerer Punkte von einander. Wir können zunächst mit grosser Sicherheit aus den Convergenzbewegungen, die wir für Punkte in verschiedener Entfernung machen müssen, erkennen, ob ein Punkt vor oder hinter dem andern, ob er weit oder nur wenig entfernt ist von dem andern; wir benutzen in der That beim gewöhnlichen Sehen die Convergenzbewegungen, um uns über die Entfernung von Punkten in der dritten Dimension oder über die Tiefendimension zu unterrichten. Wenn sich eine horizontale Linie in der Medianlinie befindet, so lassen wir die Gesichtslinien

sich in allen ihren Punkten kreuzen und dasselbe geschieht bei vielen in der dritten Dimension ausgedehnten Objecten, d. h. bei Körpern. BRÜCKE (Müller's Archiv 1841, p. 459) hat schon den Einfluss der Augenbewegungen für die Wahrnehmung der Tiefendimension hervorgehoben — indess allerdings auch überschätzt. Es ist nämlich von DOVE (Berliner Akademie-Berichte 1841, p. 252 — Farbenlehre 1853, p. 153) und später von vielen Andern, von VOLKMANN (Handwörterbuch der Physiologie 1846, III. 1, p. 349), v. RECKLINGHAUSEN (Poggendorff's Annalen 1859, Bd. 110, p. 81), PANUM (Das Sehen mit zwei Augen 1858, p. 53 und andern Stellen), AUBERT (Physiol. der Netzhaut 1864, p. 315), DONDERS (Archiv f. Ophthalm. 1867, XIII. 1, p. 36) festgestellt worden, dass bei Ausschluss aller Augenbewegungen, nämlich beim Ueberspringen eines elektrischen Funkens die Tiefendimension sicher erkannt wird, und zwar für die allereinfachsten Objecte.

Ich habe in meiner Physiologie der Netzhaut Versuche mitgetheilt, in denen vor einem gleichmässig weissen Schirme ein in der Tiefendimension ausgespannter dünner schwarzer Faden in seiner Neigung richtig erkannt wurde beim ersten Funken, welcher übersprang — ferner Versuche, in denen im Stereoscop dem einen Auge eine schwarze verticale Linie auf weissem Papier, dem andern Auge eine um 10° gegen das Loth geneigte sonst gleiche Linie geboten wurde, und jedesmal beim Ueberspringen des Funkens eine gegen die Ebene des Papiers in bestimmter Weise geneigte Linie (merkwürdigerweise niemals zwei gekreuzte Linien) gesehen wurde. Um in diesen Versuchen beim Ueberspringen des Funkens die Augen in passender Convergenzstellung und Accommodation zu haben, wurden die zum Sammelbilde zu vereinigenden Projectionen in ihrem Mittelpunkte (dem zu fixirenden Punkte) mit einer feinen Nadel durchstochen und auf eine von unten sehr schwach beleuchtete Glasplatte gelegt. — DONDERS hat später die Versuche in gleicher Weise angestellt und ein gleiches Resultat erhalten.

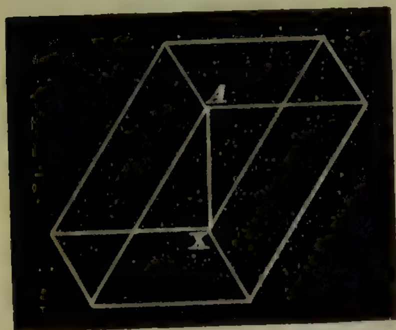
Es können also durch die Anordnung der Punkte in den Netzhautbildern perspectivische Wahrnehmungen hervorgebracht werden, ohne dass durch Schattirung u. s. w. Momente für die Vorstellung geliefert und unter dem Einflusse derselben die Netzhautbilder ausgelegt würden. Ja, es geht aus meinen Versuchen mit den Linien im Stereoscop sogar hervor, dass nicht nur Neigung, sondern ein Zwang zu der Auslegung der Netzhautbilder als eines Objectes mit Tiefendimension obwaltet. Man hat nämlich, wenn man zwei Linien der beschriebenen Art bei dauernder Beleuchtung betrachtet, die Alternative, im Sammelbilde entweder die beiden Linien in der Ebene des Papiers sich kreuzend, oder eine Linie, welche gegen die Ebene des Papiers geneigt ist, zu sehen: beim Ueberspringen des Funkens sieht man aber immer nur das letztere, ohne dass hierbei der Einfluss der Vorstellung in Betracht kommen kann. VOLKMANN (Archiv f. Ophthalm. 1859, V. 2, p. 32) hat in einer grossen Reihe von Versuchen die Bedingungen bestimmt, unter denen Linien und Punkte zu einem Sammelbilde (mit Tiefendimension) vereinigt werden können, und unter denen dies nicht mehr geschehen kann, und gefunden, dass bei gewisser Winkelabweichung oder gewisser Distanz von Linien und Punkten von einander eine Vereinigung nicht mehr möglich ist, dass dagegen bei geringer Winkelabweichung oder Distanz eine Trennung der Linien oder Punkte im Sammelbilde nicht möglich oder wenigstens sehr schwierig ist. VOLKMANN hat bei seinen Versuchen allerdings nicht darauf geachtet, dass die Ver-

einigung der Linien jedesmal mit einem Heraustreten derselben aus der Ebene des Papiers verbunden ist. PANUM (Das Sehen mit zwei Augen 1858, p. 52), welcher schon vor VOLKMANN derartige Versuche angestellt und dabei das Heraustreten des Sammelbildes aus der Ebene des Papiers betont hat, hat auf Grund dieser und anderer Versuche gewisse Bezirke auf den Netzhäuten statuirt (Archiv für Anatomie und Physiologie 1861, p. 84), welche ihre Empfindungen räumlich zu verschmelzen geneigt sind. Ich habe, dieser Hypothese PANUM's folgend, die zum Verschmelzen im Sammelbilde geneigten Netzhautpunkte als s t e r e o i d e n t i s c h e P u n k t e bezeichnet (Physiologie der Netzhaut p. 319), welche nämlich zu e i n e m Punkte im Raume zusammen projicirt werden, aber unter der Bedingung, dass sie vor oder hinter der durch den fixirten Punkt gelegten Ebene liegen.

Wenn wir nun die Tiefendimension bei momentanem Blick richtig erkennen und dazu immer erforderlich ist, dass die Punkte der Objecte sich auf nichtidentischen Stellen abbilden, wir dieselben aber doch nicht doppelt sehen, so glaube ich dies daraus erklären zu müssen, dass wir durch viele Erfahrungen unter Beihülfe von Augenbewegungen gelernt haben, dass gewissen disparaten Punkten unserer Netzhaut ein einfacher Punkt im Raume entspricht, welcher vor oder hinter dem fixirten Punkte liegt; durch die Häufigkeit der Erfahrungen ist uns die Combination dieser disparaten Punkte so geläufig geworden, dass es uns schwer wird, sie zu unterlassen. Mit welchem Zwange diese Combination eintritt, dafür bieten ein sehr frappantes Beispiel die Dove'schen ungleich gedruckten Buchstaben auf Platten für das Stereoscop (DOVE, Optische Studien 1859, p. 35, Druckplatte V): es ist mir ganz unmöglich, die Buchstaben im Sammelbilde doppelt zu sehen, immer treten sie einfach aus der Ebene des Papiers hervor.

Dass wir durch Erfahrungen Vorstellungen gewonnen haben, deren Reproduction um so leichter ist, je grösser die Häufigkeit der Erfahrungen war, geht aus dem gewöhnlichen Sehen im alltäglichen Leben hervor, ausserdem möchte ich dafür noch die Erscheinung des sogenannten Necker'schen Würfels oder Rhomboeders Figur 86 geltend machen. (NECKER, Edinburgh Philosophical Journal 1832, Bd. I. p. 334 u. Poggendorff's Annalen Bd. 27, p. 502.) Bei momentaner Beleuchtung erscheint mir die Figur immer so, dass der Punkt X vorn liegt, mag ich diesen oder den Punkt A fixiren. Stelle ich mir lebhaft vor, dass A vorn liegt, oder drehe ich die Zeichnung um 180°, so lege ich die Zeichnung auch demgemäss aus, aber sehr leicht verfalle ich wieder auf die frühere Auslegung, und ich muss gewissermassen gegen den Zwang der früheren Vorstellung ankämpfen, um A vorn und X hinten zu sehen. Ich vermuthe, dass das daher kommt, d a s s w i r d i e F i g u r s o a u s l e g e n, w i e u n s d i e V o r s t e l l u n g e n a m g e l ä u f i g s t e n s i n d: wir haben oft Bücher, Kisten u. s. w. in einer Lage gesehen, wie die, in welcher X vorn liegt, viel seltener oder nie in einer Lage, wo A vorn liegen würde. — Aehnliches tritt auch bei der Pseudoscopie (s. S. 625) ein: wenn ich zwei rechtwinklige Prismen so vor die Augen halte, dass das rechts gelegene Bild links, das links gelegene rechts erscheint, so wird es mir schwer, ein be-

Fig. 86.



kanntes Relief als Vertiefung zu sehen und es dauert einige Zeit, bis sich die Vorstellung, dass das Object vertieft sei, einstellt.

Es ist wohl anzunehmen, dass die Geläufigkeit der Vorstellung uns bestimmt, einen geneigten Faden als solchen und nicht als zwei sich kreuzende Fäden ohne Neigung zu sehen. Indess wir können doch nicht vollständige Rechenschaft geben, warum wir unter Umständen sehr bestimmte Urtheile über Tiefendimensionen haben, wenn die Objecte sehr einfach sind, und es ist namentlich zu berücksichtigen, dass wir nicht wissen, mit welchem Auge wir die eine und die andere Projection eines Fadens, einer Linie u. s. w. sehen. Ich führe zum Beweise dessen noch einen Versuch an von Hering (Archiv für Anatomie und Physiologie 1865, p. 153 und Archiv für Ophthalmologie 1868, XIV. 1, p. 3), ein Versuch, welcher zugleich beweist, dass wir ohne Augenbewegungen die Tiefendimension wahrnehmen: blickt man durch einen kurzen Cylinder und richtet die Augen auf die Spitze einer Nadel und lässt nun vor oder hinter der Nadelspitze ein Kügelchen von unbekannter Grösse herabfallen: so bestimmt man sofort sicher, ob das Kügelchen vor oder hinter der Nadelspitze herabfällt — wobei die Wände des Cylinders etwaige Anhaltspunkte für unser Urtheil verdecken. — Man vergleiche hierüber Donders, Archiv für Ophthalmologie XIII. 1, p. 28.

Auf den Einfluss, welchen Schattirung, Form, Grösse auf unsere Wahrnehmung der Tiefendimension haben, werden wir im nächsten Paragraph zurückkommen.

§ 64. Das stereoscopische Sehen. — Wir haben schon in § 59 und § 63 darauf hingedeutet, dass wir die Ausdehnung von Objecten in der dritten Dimension beim monocularen Sehen wahrnehmen können und dass wir beim monocularen Sehen die Vorstellung von der absoluten und von der relativen Entfernung von Punkten oder Objecten gewinnen. Wir haben ferner durch die Gruppirung von Lineamenten, wie sie beim Sehen von körperlichen Objecten auf der Netzhaut sich abbilden, einen Gesichtseindruck, welcher beim Sehen mit einem Auge die Vorstellung eines nach drei Dimensionen ausgedehnten Objectes hervorbringt, wie z. B. alle stereometrischen Figuren beweisen. Aber selbst noch einfachere Lineamente, z. B. wie Hering (Beiträge 1862, II. p. 87) bemerkt, eine schwache verticale Linie von einer starken Linie (im sogenannten Wheatstone'schen Versuche s. § 61) durchkreuzt, erzeugt schon die Vorstellung, dass die starke Linie nicht in der Ebene des Papiers, auf dem sie gezeichnet ist, liegt. Noch viel mehr tritt der Eindruck des Körperlichen beim monocularen Sehen hervor, wenn wir eine perspectivische Zeichnung ansehen, und er wird noch erhöht, wenn die Vertheilung der Lichtintensitäten, die Schattirung denjenigen Lichtdifferenzen entspricht, welche wir an Körpern zu sehen gewohnt sind. Unter diesen Umständen ist sogar die Vorstellung und Wahrnehmung des Körperlichen viel lebhafter, wenn wir nur mit einem, als wenn wir mit beiden Augen sehen, und wir finden, dass, wenn wir alle diejenigen Momente, welche in uns die Vorstellung einer Fläche erwecken, fortschaffen, z. B. wenn wir den Glanz der Oberfläche einer Photographie durch passende Beleuchtung oder durch Untertauchen unter Wasser beseitigen, wenn wir die Entfernung der Bildfläche unsicher machen, indem wir es durch eine dunkle Röhre, ein grosses Convexglas (Panoramaglas) ansehen — dass dann der Eindruck des Körperlichen immer mehr überwiegt. Daraus er-

klärt sich denn auch der überraschende Eindruck sogenannter Dioramen oder Kosmoramen u. s. w.

Wir werden uns die Illusion bei derartigen Anschauungen kaum anders erklären können, als dass wir durch viele Erfahrungen über das Aussehen von Objecten, die wir als Körper kennen gelernt haben, unterrichtet sind, und dass wir die Eigenschaften, die uns wirkliche Körper zeigen, in jenen Bildern mehr oder weniger vollständig wiederfinden. Donders (A. f. O. 1871, XVII. 2, p. 24) hat nachgewiesen, dass wir sogar bei monocularer Betrachtung die entsprechenden Bewegungsinnervationen eintreten lassen, und die Convergenz unserer Gesichtslinien ändern, entsprechend der Vorstellung, welche wir uns von der Entfernung des Vorder- und Hintergrundes eines z. B. landschaftlichen Gemäldes machen, und wiederum die Entfernungsinnervation auf unsere Vorstellung wirkt.

»Stellt man sich«, sagt Donders, »vor ein Gemälde, sieht nach irgend einem Gegenstande im Vordergrunde, bedeckt darauf das eine Auge mit einem kleinen Schirm und richtet nun den Blick auf einen Gegenstand des Gemäldes, den man sich in grösserer Entfernung vorzustellen hat, dann wird man beim Entfernen des Schirmes den Gegenstand in Doppelbildern sehen, die sich nun rasch einander nähern, womit die Illusion zum Theil verloren geht. Auch ein Anderer kann beobachten, dass das Auge hinter dem Schirm eine Bewegung nach aussen macht unter den angegebenen Umständen — und ich kann hinzufügen, dass ich unter diesen Verhältnissen ganz deutlich die Convergenz- und Divergenzbewegungen des geschlossenen Auges fühlen kann.«

Ein Theil der Momente, welche uns zur Wahrnehmung des Körperlichen bestimmen, wurde erst erkannt durch Wheatstone (Philosophical Transactions 1838, II. p. 371, deutsch in Poggendorff's Annalen, Ergänzungsband I. 1842, p. 1), indem er die Wahrnehmung von Körpern beim binocularen Sehen untersuchte. Er fand, dass ein Körper, welcher sich nahe vor dem Gesicht und in der Medianebene befindet, anders erscheint, wenn er mit dem einen, als wenn er mit dem andern Auge betrachtet wird, und wies nach, dass wenn jedem Auge das ihm zugehörige Bild des Körpers als Zeichnung dargeboten wird und man durch passende Einstellung der Augen die Vereinigung der beiden Zeichnungen ermöglicht, dann die Wahrnehmung des Körperlichen mit gleicher Präcision erfolgt, als wenn die Bilder des Körpers auf der Netzhaut entworfen werden.

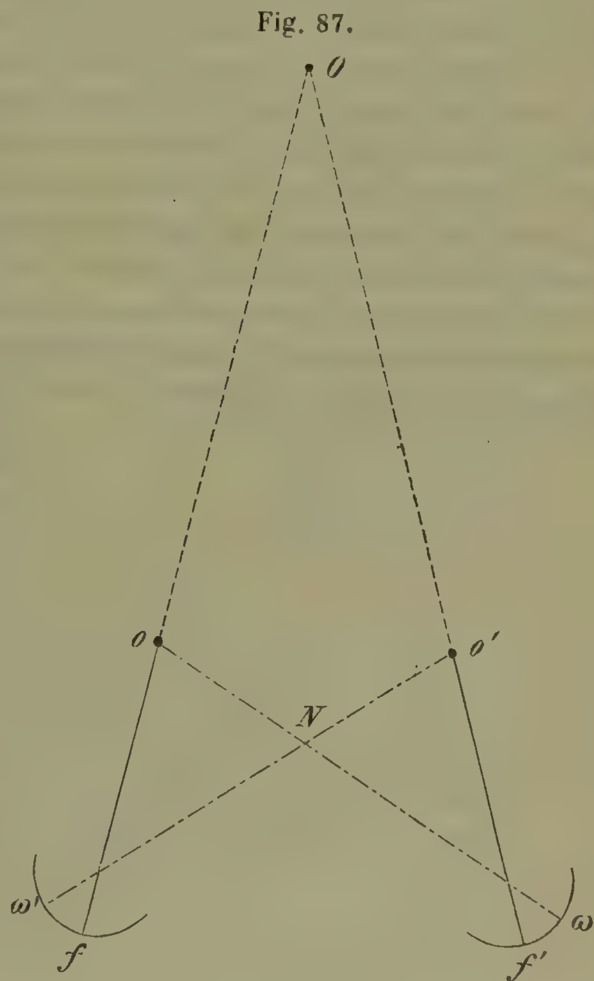
Die Zeichnungen, welche den Augen dargeboten werden, müssen, kurz gesagt, die Umkehrungen der Netzhautbilder des Körpers sein; wenn wir mit Wheatstone (Poggendorff's Annalen l. c. p. 7) den einfachsten Körper, einen von oben und vorn nach unten und hinten in der Medianebene geneigten Draht als Beispiel wählen, so würde, wenn wir den Mittelpunkt des Drahtes fixiren, auf der rechten Netzhaut das Bild desselben von unten und aussen durch die *Fovea centralis* nach oben und innen, auf der linken Netzhaut gleichfalls von unten und aussen nach oben und innen verlaufen, also Bilder von entgegengesetzter Neigung entworfen werden, natürlich mit perspectivischer Verkürzung. Je weiter vom fixirten Punkte aus ein Punkt des Drahtes den Augen liegt, um so weiter werden die Punkte der beiden Bilder von einander entfernt sein müssen, und umgekehrt, und im fixirten Punkte fallen die Bilder auf die identischen Mittelpunkte der *Foveae centrales*. Die Bildpunkte aller übrigen Punkte des Drahtes fallen also auf nichtidentische Netzhautpunkte. — Fixiren wir den nächsten Punkt des Drahtes, so divergiren die Bilder auf den Netzhäuten von den Foveae nach innen und oben,

fixiren wir den entferntesten Punkt, so divergiren sie nach innen und unten — umgekehrt auf den Projectionen in den Raum. Denken wir uns die Bilder mit den fixirten Punkten sich deckend auf einander gelegt, so werden die Bilder der näheren Punkte des Körpers um so weiter von einander liegen, je näher sie den Augen sind. Ihre Distanz bezeichnet Helmholtz (Physiol. Optik p. 638) als stereoscopische Parallaxe; er nennt die Parallaxe positiv für die näheren, negativ für die entfernteren Punkte. Böttcher (A. f. O. 1874, XX. 2, p. 182) dagegen versteht unter stereoscopischer Parallaxe den Winkel, unter welchem von einem Punkte aus der Augenabstand des Beschauers erscheint.

Werden nun die entsprechenden Projectionsbilder als Zeichnungen den Augen vorgehalten und dieselben auf zwei geometrisch gelegene Punkte derselben eingestellt, so erscheint ein Sammelbild von den beiden Zeichnungen, welches, da dieselben den Projectionen des Drahtes entsprechen, ebenso aussehen muss wie der Draht selbst. Was von dem Drahte, seinen Projectionen und der Vereinigung der Zeichnungen seiner Projectionen zu dem Sammelbilde des Drahtes gilt, das gilt ebenso für Kegel, Würfel u. s. w., kurz für alle körperlichen Objecte.

Ausser dem Sammelbilde, welches von den fixirten Punkten ausgeht, erscheinen aber noch zwei Halbbilder zu beiden Seiten des Sammelbildes, da der Beobachter mit dem rechten Auge nicht blos die rechte, sondern auch die links gelegene Zeichnung und mit dem linken Auge ausser der linken auch noch die rechtsgelegene Zeichnung sieht, wie aus Figur 87 hervorgeht. Sind o und o' die Mittelpunkte der beiden Zeichnungen, welche in O zum Sammelbilde vereinigt werden, welche also auf die Foveae ff' der Netzhäute fallen, so wird auch noch ein Bild von o in ω und von o' in ω' entworfen. Die beiden Halbbilder ω und ω' werden aber verschwinden, wenn man eine Scheidewand in der Medianebene, welche über den Punkt N hinausreicht, anbringt und so die Bilder von o und o' abblendet.

Fig. 87.



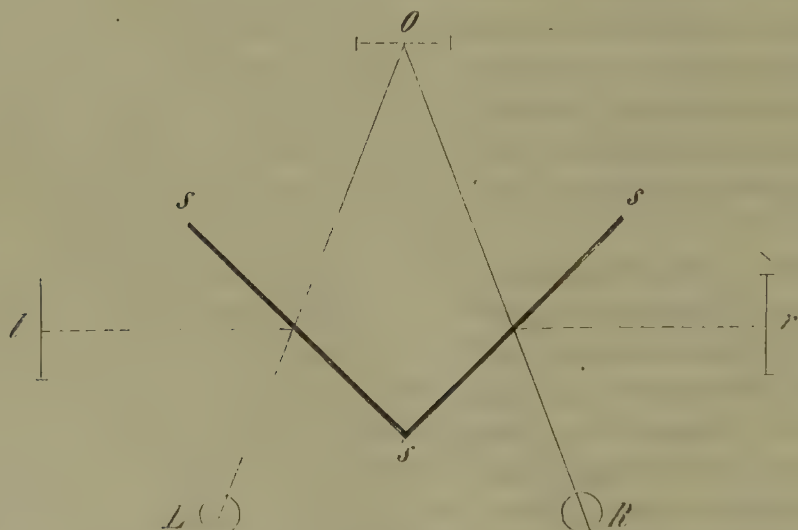
Man kann ferner eine Vereinigung der Zeichnungen zu einem Sammelbilde, welches als Körper erscheint, bewirken auf zweierlei Weise: Erstens indem man den Mittelpunkten der Zeichnungen eine der Distanz der Augenmittelpunkte nahezu gleiche, oder ein wenig geringere Distanz giebt, wie in Figur 87, und die Gesichtslinien nahezu parallel richtet, wie fo und $f'o'$, so dass die Vereinigung von o und o' zum Sammelbilde in O erfolgt. Zweitens indem man die Gesichtslinien auf einen

näher gelegenen Punkt so convergiren lässt, dass die Mittelpunkte der Zeichnungen in diesem Punkte zum Sammelbilde zusammenprojicirt werden. Wären in Figur 87 $o\omega$ und $o'\omega'$ die Gesichtslinien, so würde das Sammelbild in den Punkt N fallen, ausserdem selbstverständlich die Halbbilder von o in f und von o' in f' entworfen werden: sollen diese abgeblendet werden, so müssen von beiden Seiten her Schirme vorgeschoben werden. — Es ist ohne weiteres ersichtlich, dass das Sammelbild in beiden Fällen verschieden sein muss, indem ja dabei die Projectionen für das rechte und für das linke Auge vertauscht werden: was bei Parallelstellung der Gesichtslinien im Sammelbilde näher erscheint, muss bei Convergenzstellung ferner als der fixirte Punkt erscheinen und umgekehrt.

Offenbar werden nun, wenn das Sammelbild deutlich erscheinen soll, die Augen für die Entfernung der Ebene, auf welcher die beiden Projectionszeichnungen entworfen sind, accommodirt sein müssen. Bei Parallelstellung der Gesichtslinien sind aber die Augen nicht für die in deutlicher Sehweite (200 Mm.) befindlichen Zeichnungen bei emmetropischen Augen accommodirt, sondern für grosse Ferne, und bei Convergenzstellung sind sie zugleich für grössere Nähe, als für die Nähe der Zeichnung accommodirt. Es muss also für Jeden, der nicht unabhängig von der Augenstellung accommodiren kann (und dies können verhältnissmässig wenige Leute), eine künstliche Verbesserung der Accommodation durch Brillen herbeigeführt werden, und zwar bei Parallelstellung durch Convexgläser, bei Convergenzstellung durch Concavgläser. Myopen brauchen allerdings bei Parallelstellung keine Gläser, da ihre brechenden Medien gleich den brechenden Medien der Emmetropen + einem Convexglase sind, Presbyopen und Hypermetropen dagegen brauchen für die Convergenzstellung kaum Gläser, da der Presbyop nicht für grössere Nähe accommodiren kann, der Hypermetrop aber gleich einem Emmetropen mit Concavgläsern ist.

Da nun theils die besprochenen Halbbilder störend sind, theils eine Veränderung der natürlichen Accommodation erforderlich ist, so haben Wheatstone und Andere besondere Apparate, durch welche jene Störungen vermieden werden, construirt, welche unter dem Namen »Stereoscope« bekannt sind. Wir beschreiben einige dieser Apparate.

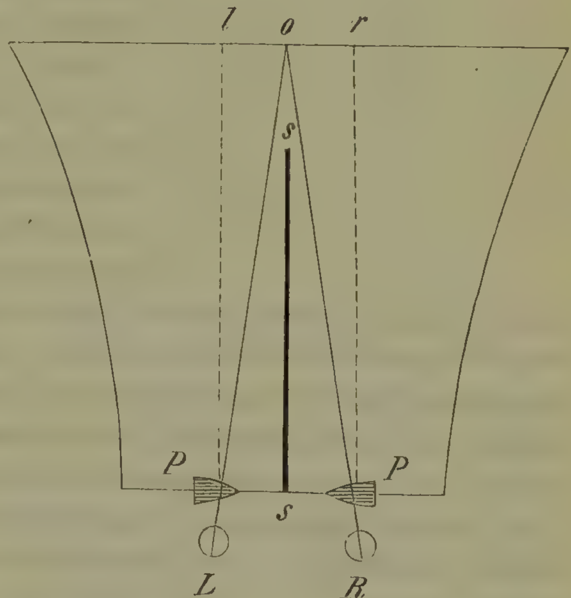
Fig. 88.



1) Das älteste ist von Wheatstone (l. c.) angegeben und heisst Wheatstone-sches Spiegelstereoscop. Es besteht (Fig. 88) aus zwei unter einem rechten Winkel zusammengefügten Planspiegeln *sss*, in welchen die dem rechten und linken Auge zugehörigen Projectionszeichnungen *r* und *l* sich spiegeln, welche in der Entfernung des deutlichen Sehens vor den Spiegeln unter 45° gegen die spiegelnde Fläche aufgestellt sind. Die Augen *L* und *R* sehen dann die Spiegelbilder vereinigt in *O* als Sammelbild. — Es ist zweckmässig, die Bilder von den Spiegeln weiter entfernen und sie denselben nähern zu können, was sich leicht für den Apparat einrichten lässt. — Man sieht in dem Wheatstone'schen Stereoscope nur das Sammelbild, da die beiden Projectionszeichnungen ganz zur Seite liegen, und man sieht sie in der Entfernung der deutlichen Sehweite, also scharf und deutlich.

2) Brewster's Prismenstereoscop (Report of the British Association 1849, 2, p. 5 und Brewster, Das Stereoscop, deutsch von Schmidt, Weimar 1862) besteht aus zwei mit ihren brechenden Kanten nach innen liegenden Prismen *PP* mit convexen Oberflächen (Hälften einer dicken Convexlinse von etwa 200 Mm. Brennweite), eine *r* für das rechte *R*, eine *l* für das linke Auge *L*, durch welche man mit parallelen Gesichtslinien (Fernstellung mit Accommodation für die Ferne) nach den etwa 200 Mm. entfernten Bildern *r* und *l* für das rechte und linke Auge blickt; zwischen den beiden Prismen in der Medianebene befindet sich ein bis in die Nähe der Zeichnungen reichender schwarzer Schirm *ss*. Durch die Wirkung der Prismen werden bei parallelen Gesichtslinien die geradeaus gelegenen Punkte der Zeichnung zusammengeschoben, so dass *r* und *l* in *o* zu liegen scheinen (Figur 89). Durch die Convexität der Prismenoberflächen wird das Auge richtig accommodirt.

Fig. 89.

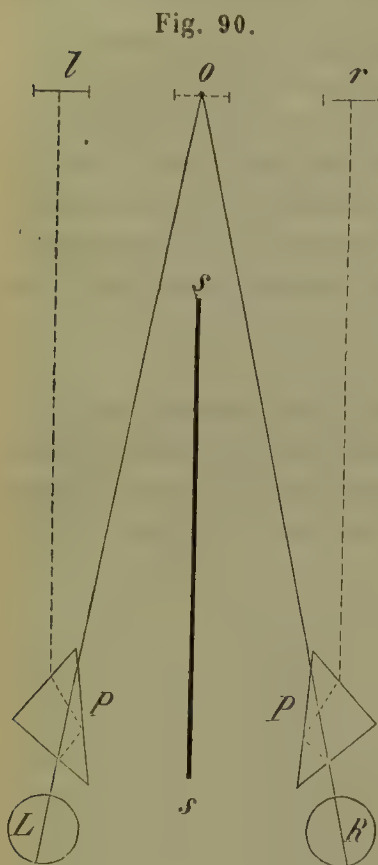


3) Das einfache Linsenstereoscop, wahrscheinlich auch von Brewster angegeben und von Loudon in Dundee vor 1850 angefertigt (Brewster, Das Stereoscop 1862, p. 30), hat statt convexer Prismen gewöhnliche Linsen von etwa 200 Mm., sonst ist es ebenso wie No 2; es kommt wegen des Parallelismus der Gesichtslinien ebenso gut eine Verschmelzung der Bilder zu Stande. — Dieses Stereoscop hat Helmholtz (Physiologische Optik p. 680) dadurch verbessert, dass er erstens statt einer biconvexen zwei planconvexe Linsen anwendet, die obere dem Auge nähere von 120 Mm., die andere der Zeichnung nähere von 180 Mm. Brennweite. Sie werden in Röhren befestigt, welche ausgezogen und verschieden eingestellt werden können nach dem Brechungszustande der Augen des Beobachters, und können ausserdem entsprechend der Distanz der Augenmittelpunkte verschieden weit von einander durch Schrauben gestellt werden.

4) Statt der von Wheatstone angewendeten Spiegel hat Dove (Farbenlehre

1853, p. 191) rechtwinklige Prismen *PP* angewendet, welche wie in Figur 90 vor den Augen *L*, *R* angebracht werden, indem an der Hypotenuse eine totale Reflexion stattfindet. Moigno hat dafür den Namen *Stereoscope à réflexion totale* vorgeschlagen. Für gewisse Zeichnungen kann man den stereoscopischen Effect auch erreichen, wenn man nur eine Zeichnung anwendet und diese mit einem freien Auge und einem mit der Hypotenuse nach aussen gerichteten rechtwinkligen Prisma vor dem anderen Auge betrachtet. (Dove, l. c. p. 196 Figur 4.) Daselbst hat Dove noch andere stereoscopische Vorrichtungen beschrieben. Vergl. auch Dove, Optische Studien 1859.

Fig. 90.



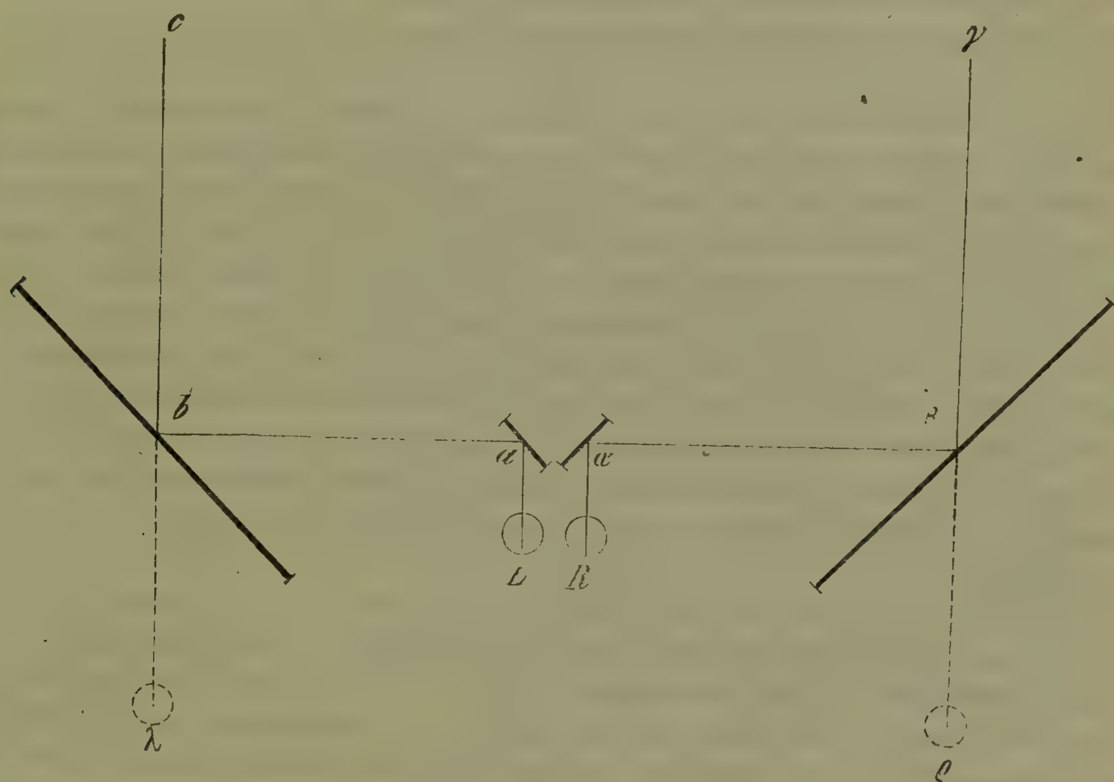
5) An die letztere Methode von Dove schliesst sich das neuere stereoscopische Mikroscop von Nachet (Helmholtz, Physiol. Optik p. 682), in welchem die Strahlen von dem einfach vorhandenen flächenhaften Objecte theils auf dem gewöhnlichen Wege durch den Tubus in das eine Auge des Beobachters gehen, zum andern Theile aber von einem kleinen Prisma total reflectirt werden nach einem zweiten Prisma, durch welches sie in den Tubus für das andere Auge reflectirt werden. Helmholtz giebt von der Wirkung dieses Instrumentes folgende Erklärung: »alle Punkte der Focalebene des Mikroscops geben ein punktförmiges Bild, alle Punkte aber, die vor oder hinter der Focalebene liegen, geben kleine Zerstreuungskreise, und wegen der Halbirung des Strahlenbündels fällt die eine Hälfte eines jeden Zerstreuungskreises in das rechte, die andere in das linke Auge. Da nun die rechte Hälfte des Zerstreuungskreises anders liegt, als die linke, so kommt dadurch eine stereoscopische Wirkung zu Stande«. Die nähere Begründung s. bei Helmholtz, Physiol. Optik p. 683. — Eine andere Form des stereoscopischen Mikroscops, auf deren Princip der binoculare Augenspiegel von Giraud-Teulon gegründet worden ist, s. dieses Handbuch III. 1, p. 157. Andere Formen von Stereoscopen beschreiben Helmholtz und Dove l. c. — Angaben über die Anfertigung stereoscopischer Bilder s. bei Helmholtz, l. c. p. 687, und Brewster, Das Stereoscop 1862, p. 228 u. f. Von besonderem Interesse sind noch

6) das Telestereoscop von Helmholtz. Es hat den Zweck, auch an sehr entfernten Objecten, welche bei der natürlichen Entfernung der beiden Augen von einander keine merklich differenten Bilder in denselben entwerfen, das stereoscopische Relief wahrnehmbar zu machen; dies bewerkstelligt Helmholtz durch künstliche Vergrösserung der Augendistanz mittelst 4 Planspiegeln, wie es Figur 91 (Helmholtz, Physiol. Optik p. 648, Figur 192) zeigt. Das von den Punkten *c* und γ kommende Licht wird von den grossen Spiegeln *b* und β nach den kleineren Spiegeln *a* und α reflectirt und gelangt von diesen in die Augen des Beobachters *L* und *R*. Es werden nun in den grossen Spiegeln Bilder entworfen, und in die Augen reflectirt, welche so grosse Differenzen gegen ein-

ander zeigen, als die Netzhautbilder in Augen haben würden, welche sich in ϱ und λ befänden.

Ein grösseres Telestereoscop von Helmholtz ist so construirt, dass entsprechend der Vergrösserung der Augendistanz auch die Vergrösserung der Objecte zunimmt.

Fig. 91.



jecte zunimmt. Die Beschreibung desselben s. Physiol. Optik p. 681, Taf. IV. Figur 3. cf. Poggendorff's Annalen 1857, Bd. 101, p. 494 und Bd. 102, p. 167.

7) Das Pseudoscop von Wheatstone (Helmholtz, Physiol. Optik p. 646) besteht wie Dove's Prismenstereoscop (No. 4 Fig. 91) aus zwei mit der Hypotenuse medianwärts oder lateralwärts vor die Augen gehaltenen rechtwinkligen Prismen. Es hat den Zweck die binocularen Bilder wirklicher Körper so zu verändern, dass man umgekehrte Reliefs davon erhält, also das Hervortretende oder Erhabene vertieft erscheint und umgekehrt.

Helmholtz bemerkt, dass die pseudoscopische Täuschung nur an einer kleinen Anzahl von Gegenständen gelingt, weil theils die Kenntniss der gewöhnlichen Formen, theils die Schlagschatten hindernd in den Weg treten, und fügt hinzu, dass eine lebhafte Vorstellung von der pseudoscopischen Form die Erscheinung der Pseudoscopie begünstige, und wenn diese Vorstellung einmal gebildet sei, sie auch ohne Mühe bestehen bliebe. Ich kann dem nur beistimmen, finde aber häufig ein ganz unmotivirtes Umschlagen der Pseudoscopie in die richtige Stereoscopie während ganz ruhiger und unveränderter Betrachtung des Objectes. Ich würde glauben, dass man es hierbei mit Wettstreitserscheinungen der Netzhäute zu thun habe, wenn ich nicht beim Sehen durch ein rechtwinkliges Prisma mit einem Auge, während das andere geschlossen ist, ganz dieselben Wechselerscheinungen wahrnähme. Ein recht geeignetes Object ist ein der Länge nach gekniffles und wieder auseinandergeschlagenes Blatt Papier, welches von der

Seite her beleuchtet wird. Innerhalb einer Minute findet ein drei- bis viermaliger Wechsel statt: bald bildet das Papier einen Winkel, bald eine Kante. — Ferner habe ich öfters bei Bas- und Haut-Reliefs im ersten Momente des Anschauens durch das Pseudoscop eine lebhafte Umkehrung des Reliefs in Vertiefung wahrgenommen, welcher aber sofort die Rückkehr zum richtigen Relief folgte; diese letztere Anschauung des richtigen Reliefs blieb dann trotz der energischsten Vorstellung der Pseudoscopie ganz unabänderlich bestehen.

§ 65. Wahrnehmung der Grösse. — Man unterscheidet absolute Grösse, scheinbare Grösse, geschätzte (oder wirkliche) Grösse und relative Grösse.

Wir haben schon in § 55 darauf hingewiesen, dass wir über die absolute Grösse nichts wissen können, da wir über die Grösse unserer die Grösse empfindenden oder wahrnehmenden Organe nichts wissen. (cf. Porterfield, On the Eye 1759, T. II. p. 365 u. f.) Am deutlichsten hat sich Ernst Heinrich Weber (Handwörterbuch der Physiologie 1846, III. 2, p. 528) über die Unfähigkeit, die absolute Grösse wahrzunehmen, ausgedrückt: wenn wir uns vorstellen, dass wir in allen Dimensionen zu der Grösse eines Infusionsthierchens verkleinert würden, alle Dinge der Welt in gleichem Maassstabe an Grösse abnähmen und alle Bewegungen proportional kleiner und langsamer würden, so würden wir davon nichts merken.

Unter scheinbarer Grösse verstehen wir den Gesichtswinkel, unter welchem sich etwas auf unserer Netzhaut abbildet — beide Benennungen sind geradezu synonym. Da ein und dasselbe Object unter um so kleinerem Gesichtswinkel erscheint, je weiter es von uns entfernt ist, anderseits die wahrgenommene Grösse sehr verschieden ist, je nachdem wir ein und dasselbe Netzhautbild, z. B. ein Nachbild in grössere oder geringere Entfernung projiciren, so wird die Grösse, welche wir einem Objecte beilegen, immer abhängig sein zugleich von dem Gesichtswinkel und der Entfernung des Objectes: diese Grösse werde ich nach Förster's Vorschlage (Ophthalmologische Beiträge 1862, p. 69) als geschätzte Grösse bezeichnen. Der Ausdruck »wirkliche Grösse«, welcher dafür gebraucht wird, ist zu unklar und, bei unserer Unkenntniss von dem Wirklichen, nicht bezeichnend.

Wir verfahren nun bei der Schätzung der Grösse keineswegs consequent, so dass wir etwa unsere Netzhautbilder in eine bestimmte Entfernung projicirten, dann mit einander verglichen und daraus die dem Object zuzuschreibende Grösse berechneten. (cf. Panum, Archiv für Ophthalm. 1859, V. p. 1—36. — Förster, Ophthalm. Beiträge 1862, p. 70.) Vielmehr haben wir kein einheitliches Maass für die Grösse unserer Netzhautbilder, sondern messen dieselben nach verschiedenem Maasse. Wer denkt daran, sagt Förster, dass der Bleistift auf dem Tische gerade so dick erscheint, wie ein Fichtenstamm vor dem Fenster? Wir sind nicht im Stande anzugeben, ein wie grosses Stück einer Häuserfront durch einen Maassstab von 3 Zoll gedeckt wird, den wir eben in 10 Zoll Entfernung von den Augen gehalten haben. Förster stellte einer Gesellschaft von Aerzten die Aufgabe, die Grösse des Mondes auf ein Blatt Papier in 300 Mm. Entfernung aufzuzeichnen: es wurden Kreise von 8 Zoll Durchmesser, 1 Zoll Durchmesser u. s. w. gemalt, aber keiner malte einen Kreis von 1,5 Linien, welcher dem Gesichtswinkel des Mondes von $1/2^0$ entsprochen hätte. Schon

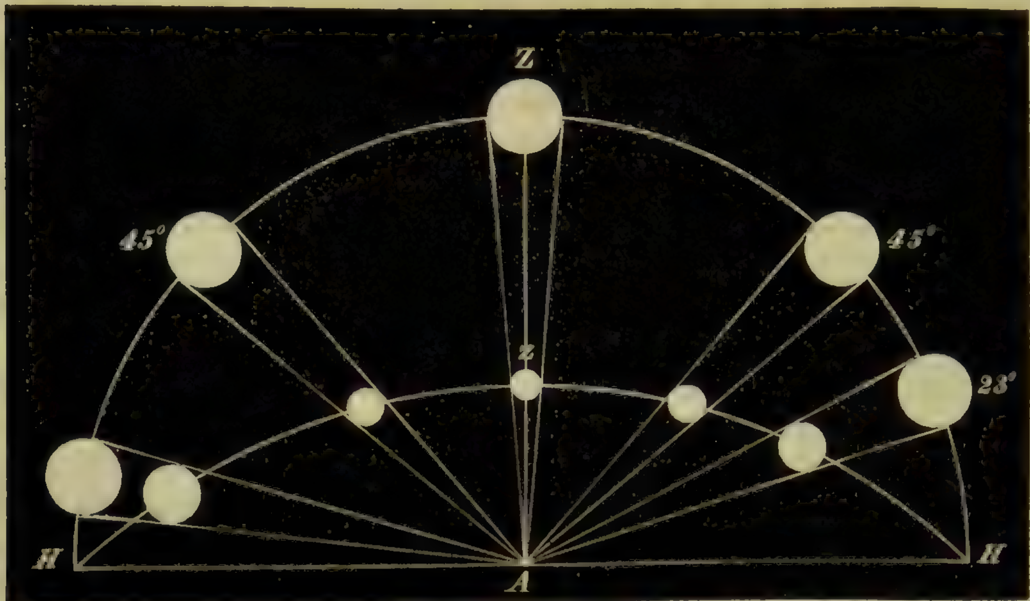
Porterfield (l. c. II. p. 373) sagt: *the Sun and Moon are only circular planets of about a foot in diameter, if we believe the testimony of our eyes.* — Anderseits haben wir gewisse bestimmte Vorstellungen von der Grösse eines Objectes, die bei den verschiedensten Grössen der Netzhautbilder unverändert bleibt, ohne dass wir etwa eine Reduction zwischen Netzhautbild und Entfernung vornähmen: von einem Menschen haben wir eine gewisse Grössenvorstellung, ebenso von seinem Kopfe; wenn wir nun in einem Saale einige Hundert Menschen vor uns sehen, die in sehr verschiedener Entfernung sitzen, so denken wir gar nicht daran, dass die Gesichtswinkel für die hintersten Köpfe vielleicht hundertmal kleiner sind, als die für die vordersten Köpfe, und wenn wir von der Zuhörerschaft ein Bild etwa auf einer matten Glastafel mittelst einer Linse entwerfen, so können wir uns auf dem Bilde zuerst nicht zurecht finden, und es bedarf erst besonderer Ueberlegung, wie wir dieses Bild auszulegen haben — und doch ist dieses Bild völlig ähnlich dem Bilde auf unserer Netzhaut.

Gleichwohl bleibt keine andere Annahme übrig, als dass wir nach Gesichtswinkel und Entfernung die Grösse schätzen oder beurtheilen und unsere Erfahrungen darüber nicht auf ein einheitliches Maass reduciren, die Conflicte aber, die sich in Folge dieser Unordnung gelegentlich einstellen, theilweise ignoriren, theilweise gewaltsam und mit einer gewissen Willkür beilegen.

Den Einfluss, welchen die Kenntniss der Entfernung auf die Grösse hat, die wir uns vorstellen, lernen wir kennen aus Wahrnehmungen, in welchen wir durch irgend welche Momente zu einer falschen Beurtheilung der Entfernung veranlasst werden. Wir haben schon in § 59 auf die Erscheinungen der Mikropsie in Folge gestörter Accommodationsfähigkeit aufmerksam gemacht, welche zuerst Donders (Nederlansh Lancet, April 1851), dann Förster (Ophthalmologische Beiträge 1862, p. 71) von dem Gesichtspunkte aus erklärt haben, dass die Grösse der Objecte in Folge der falschen Beurtheilung der Entfernung derselben auch falsch beurtheilt würde. Die Erscheinungen liefern auch zugleich ein Beispiel, wie gewaltsam unser Vorstellungsvermögen Conflicte entscheidet: wegen unrichtiger Schätzung des Accommodationsimpulses erscheinen uns die Objecte in zu grosser Nähe; weil wir sie in grössere Nähe projiciren, erscheinen sie uns kleiner; weil sie uns zu klein erscheinen, projiciren wir sie in grössere Entfernung. — Wir haben ferner in § 63 den Einfluss der Convergenz unserer Augen auf die Beurtheilung der Entfernung besprochen und können hier nur hinzufügen, dass für ein und dasselbe Object auch die Grösse abnimmt, wenn die Entfernung, in welche wir projiciren, abnimmt, also in den dort erwähnten Versuchen von Lehot, Hermann Meyer u. A. Ich will hier nur noch auf ein altes, schon von Ptolemäus (Priestley-Klügel, Geschichte der Optik 1776, p. 11 und 505) erwähntes Problem hinweisen, auf die verschiedene Grösse, in welcher uns der Mond am Horizont und am Himmelsgewölbe erscheint, während sein Gesichtswinkel immer derselbe bleibt. Smith (Smith-Kästner, Lehrbegriff der Optik 1755, p. 55, Figur 63, Tafel VII.) erklärt dies aus der Form, welche wir dem Himmelsgewölbe zuschreiben, welche nicht die einer Halbkugel, sondern die eines kleineren Stückes einer Halbkugel, vergleichbar der Form eines Uhrglases ist. Dass wir diese Vorstellung von der Form des Himmelsgewölbes haben, beweist Smith aus Beobachtungen, in welchen die Mitte des Bogens zwischen Horizont und Zenith bestimmt wurde, und aus denen sich ergab, dass ein Stern in der Mitte

zwischen Zenith und Horizont zu liegen schien, welcher nur 23° vom Horizont entfernt war. Daraus hat SMITH die scheinbare Gestalt des Himmelsgewölbes berechnet. Beobachtungen liegen ausser den Smith'schen keine vor, doch haben BOHNENBERGER (Astronomie p. 82) und DROBISCH (Leipziger Berichte 1855, III. p. 107) die Formeln zur Berechnung entwickelt. Bedeutet also in Figur 92 *HZH* den Halbkreis der Mondbahn, so ist die scheinbare Gestalt des Himmelsgewölbes, wenn sich der Beobachter in *A* befindet, *HzH*, und die scheinbare Mitte zwischen Zenith und Horizont liegt bei 23°, nicht bei 45°. Wenn wir nun aus in § 66 zu

Fig. 92.



besprechenden Veranlassungen die Entfernung *AH* grösser schätzen, als die Entfernung *Az*, so wird uns in *z* der Mond kleiner erscheinen müssen, als in der Nähe von *H*. — Uebrigens wären neue Bestimmungen der scheinbaren Form des Himmels sehr wünschenswerth, denn dieselbe ist jedenfalls nicht constant: der klare Sternhimmel ist jedenfalls ein grösserer Kugelabschnitt, als der bewölkte Himmel; ausserdem erscheint der aufgehende Mond von sehr verschiedener Grösse bei nebligem und bei klarem Horizonte, über einer weiten Ebene und über einer nahen Mauer — allerdings wohl abhängig von der Entfernung, in welche wir den Horizont projiciren.

Bei dem Mangel eines constanten Maassstabes für die Schätzung der Grösse und bei der Nachlässigkeit und Oberflächlichkeit, mit welcher wir im alltäglichen Leben sehen, ist es verständlich, dass wir auch selten zu Conflicten kommen, wenn uns von dem einen Auge andere Grössen gemeldet werden, als von dem anderen. Hält man z. B. den rechten Zeigefinger in einer Entfernung von 100 Mm. gerade vor das rechte Auge, so wird er, wenn die Gesichtslinien auf ihn gerichtet sind, dem rechten Auge grösser erscheinen, als dem linken und die Differenz zeigt sich in der That sehr gross, wenn man abwechselnd das rechte und linke Auge schliesst; bei gehöriger Aufmerksamkeit kann man sogar das kleine Bild des Fingers innerhalb des grossen Bildes deutlich sehen (HERING, Beiträge 1861, I. p. 18); wir ignoriren aber für gewöhnlich das eine, und zwar das kleinere Bild ohne weiteres und beachten nur das grosse Bild.

Mit der Labilität unserer Vorstellung von der Grösse hängt wohl auch der bedeutende Einfluss des Contrastes auf die Grössenschätzung zusammen: sehen wir bekannte Arten von Objecten und es erscheint daneben ein Object gleicher Art von erheblich bedeutenderer Grösse, so erscheinen alsbald die übrigen Objecte viel kleiner als vor dem Erscheinen des sehr grossen Objectes. Mir scheint die Täuschung darauf zu beruhen, dass sich dann die Aufmerksamkeit auf das Object von riesiger Grösse richtet und dasselbe eben dadurch Maassstab der Grösse für uns wird und sich damit weiter unser sehr unsicherer Maassstab ändert.

Dass die Aufmerksamkeit einen grossen Einfluss hat, davon habe ich mich vielfach überzeugt, nachdem ich folgende sehr günstige Gelegenheit zur Beobachtung der Contrastwirkung gehabt hatte: Auf einem Balle erschien in einer Cotillontour der Riese Murphy salonmässig gekleidet und überreichte den Damen Bouquets: alle Gäste erschienen augenblicklich sehr klein und dieser Eindruck blieb auch noch einige Minuten, nachdem der Riese schon wieder fortgegangen war. Ich habe später oft sehr grosse Menschen neben kleineren gesehen, ohne diesen Contrasteindruck zu haben, wenn die grossen Menschen nicht gerade die Aufmerksamkeit auf sich zogen: letzteres war aber in dem erzählten Beispiele in sehr hohem Grade der Fall.

§ 66. Schätzung der relativen Grösse. — Augenmaass. — Unter relativer Grösse verstehen wir das Verhältniss zweier Grössen zu einander und es ist die erste Frage, wie genau wir die Gleichheit oder die Ungleichheit zweier Grössen wahrzunehmen im Stande sind — von der Genauigkeit dieser Wahrnehmung wird es dann abhängen, in welchem Grade wir das »Um wie viel grösser« beurtheilen können.

Volkmann (Physiologische Untersuchungen I. 1863, p. 119 u. f.) hat sich die Aufgabe gestellt, zu beobachten, wie genau man eine Distanz zweier Linien der gegebenen Distanz zweier Linien gleich machen könne, und ist zu dem Resultate gekommen, dass für mittlere Grössen, z. B. die Distanz von 50 Mm. bis 100 Mm. in einer Entfernung von 300 Mm. die Einstellung der dritten Linie sehr genau ist, und die mittleren Fehler nur etwa 1% betragen. Kleine Fehler werden dadurch bedingt, dass man eine links gelegene einzustellende Linie etwas weniger genau einstellt, als eine rechts gelegene Linie. Auch ich (Physiologie der Netzhaut p. 263) habe gefunden, dass die Fehler bei mir nicht sehr gross sind, aber doch etwas mehr, nämlich 1% bis 4% betragen; ich habe aber auch bei diesen Einstellungen immer die mittlere Linie fest fixirt und Augenbewegungen möglichst vermieden. Die Einstellung ist im Ganzen so genau, wie sie bei der Feinheit des Raumsinnes nur irgend erwartet werden kann.

Die Genauigkeit dieser Einstellung ist von Bedeutung für die Genauigkeit unserer Augenbewegungen: denn, wenn wir eine Augenbewegung intendiren, so beabsichtigen wir ja, dieselbe gerade so gross zu machen, dass wir die Gesichtslinien auf den vorher indirect gesehenen Punkt einstellen. Wenn wir also die Lage desselben, d. h. seine Entfernung von dem fixirten Punkte sehr falsch schätzten, so würden wir nicht im Stande sein, eine prompte Augenbewegung auszuführen, sondern dieselbe zu gross oder zu klein intendiren, und erst nach mehrfachem Probiren und Corrigiren die Gesichtslinien auf den zu fixirenden Punkt einstellen. Dass wir in Bezug auf die Richtung und auch in Bezug auf die Entfernung von einem indirect gesehenen Punkte ziemlich genaue Wahrnehmungen

haben, hat auch Donders gezeigt (Archiv f. Ophthalm. 1871, XVII. 2, p. 28 und p. 59 u. f.) durch Versuche, in welchen die Stelle, wo ein indirect gesehener Funken übersprang, mit dem Finger zu treffen war.

Zöllner (Poggendorff's Annalen 1860, Bd. 110, p. 50), Hering (Beiträge 1861, p. 68) und Kundt (Poggendorff's Annalen 1863, Bd. 120, p. 118) haben nun Bedingungen gefunden, unter denen wir Distanzen von Punkten oder Linien, so wie die Richtungen von Linien falsch schätzen oder falsch wahrnehmen.

Zeichnet man 4 Punkte, wie in Figur 93, von denen der Punkt 1 von dem Punkte 4 um 100 Mm. entfernt ist, auf eine Tafel und stellt die Aufgabe, einen Punkt 5 in derselben Distanz von Punkt 4 einzustellen, welche Punkt 1 von Punkt 4 hat, so stellt man den Punkt nicht auf 100 Mm., sondern auf etwa 112 Mm. ein, denn wenn er auf 100 Mm. eingestellt ist, wie in Figur 93, so scheint er näher an Punkt 4 zu sein, als Punkt 4 von Punkt 1 ist.

Fig. 93.

1 2 3 4 5

Wendete ich (Physiologie der Netzhaut p. 263) verticale Streifen statt der Punkte der Deutlichkeit wegen an, so stellte ich an dem daselbst beschriebenen Apparate den fünften Streifen in 10 Versuchen auf

110 — 109 — 113 — 111 — 113 — 112 — 114 — 114 — 110 — 114 Mm.,
im Mittel 112 Mm.

ein; stellte ich ihn auf 107 ein, so erschien mir die Distanz von 4 bis 5 deutlich zu klein, stellte ich ihn auf 120 Mm. ein, so erschien sie mir deutlich zu gross.

Da ich nach derselben Methode die Einstellung der Streifen, wenn ausserdem nur 2 Linien in gegebener Distanz vorhanden waren, sehr genau gleich der gegebenen Distanz gemacht hatte, da ferner Jedermann die Distanz in der Figur 93 zwischen 1 und 4 für grösser hält, als die Distanz zwischen 4 und 5, so ist die Täuschung wohl als eine constante anzusehen.

Fig. 94.



Die Erklärung, welche Hering und Kundt von der Erscheinung geben, dass nämlich die Distanz nicht nach der Tangente, sondern nach der Sehne des Gesichtswinkels geschätzt werde und die Summe der Sehnen von 1 zu 2, 2 zu 3, 3 zu 4 grösser sei, als die Sehne von 4 zu 5, habe ich (Physiologie der Netzhaut p. 266) nicht mit den Beobachtungen in Uebereinstimmung gefunden, da die Fehldistanz sehr viel grösser gefunden wird, als die aus den Sehnen der Gesichtswinkel berechnete Distanz. Eine andere Erklärung ist bis jetzt nicht gegeben worden.

Die Beobachtung ist aber von Interesse für die in § 65 besprochene Erscheinung der Grösse des Mondes: bis zur Grenze des Horizontes sehen wir ja viele Objecte, entsprechend der Reihe

der 4 Punkte, nach dem Zenith hin aber nichts, wir werden daher in der Lage sein, die horizontale Entfernung des Mondes für grösser zu halten, als die verticale Entfernung desselben.

Mit der besprochenen Täuschung ist eine andere Erscheinung in Verbindung gebracht worden — wohl nicht mit Recht —, welche zuerst von Zöllner an dem Muster Figur 94 beobachtet wurde: die schwarzen verticalen Streifen scheinen gegen einander geneigt und die schiefen kleinen Streifen passen (worauf Zöllner von Poggendorff aufmerksam gemacht worden ist) nicht auf einander nach ihrem Durchgange durch die verticalen Streifen, sondern zeigen eine noniusartige Verschiebung. Aehnliche Verschiebungen treten ein an Figuren, welche Hering construirt hat.

Folgende Bedingungen sind von Zöllner für das Auftreten der Verschiebung an seiner Figur ermittelt worden: 1) die Divergenz und Convergenz der schwarzen und weissen Parallellinien tritt stärker hervor, wenn dieselben gegen die Verbindungslinie der Augenmittelpunkte um 45° geneigt sind, als wenn sie parallel zu derselben oder rechtwinklig gegen sie verlaufen; 2) die Täuschung tritt sowohl beim binocularen als beim monocularen Sehen auf; 3) die noniusartige Verschiebung ist unabhängig von der scheinbaren Ablenkung der Längsstreifen; 4) die Ablenkung der Längsstreifen ist am grössten, wenn die Querstreifen einen Winkel von 30° mit den Längsstreifen bilden; 5) dass die Täuschung verschwindet bei Neigung der Zeichnungsebene gegen die Visirebene. Dann hat Kundt gefunden 6) dass die Täuschung zu- und abnimmt bei geringerer oder grösserer Entfernung des Auges von dem Objecte; 7) dass sie zunimmt mit der Anzahl der Querstriche. 8) Helmholtz (Physiol. Optik p. 567) hat nachgewiesen, dass bei der Beleuchtung mit dem elektrischen Funken die Täuschungen manchmal fehlen, manchmal schwächer sind, manchmal ebenso wie bei dauernder Beleuchtung; 9) dass sie im Nachbilde verschwinden.

Dass die von Hering und Kundt versuchte Erklärung der Erscheinung nicht zutreffend ist, habe ich (Physiologie der Netzhaut p. 271) und später Helmholtz (Physiol. Optik p. 571) gezeigt. Dagegen hat Volkmann (Physiologische Untersuchungen p. 162) die Täuschung aus einer durch die schiefen Querstriche bedingten Veränderung der Projectionsfläche abgeleitet, eine Erklärung, mit der sich auch Zöllner (Volkmann l. c. p. 164) einverstanden erklärt hat; die schiefen Querstriche rufen nämlich die Täuschung hervor, als ob sie in einer gegen das Papier geneigten Ebene lägen und die scheinbare Neigung der Längsstreifen gegen die Ebenen erscheint dann als eine Neigung der Längsstreifen gegen einander. Die Täuschung würde sich dann der schon erwähnten unrichtigen Projection im Wheatstone'schen Versuche (§ 61) anschliessen. Für diese Erklärung würde auch noch der Umstand sprechen, dass die Erscheinung der Divergenz und Convergenz der Längsstreifen bei längerer Betrachtung und Durchmusterung der Zöllner'schen Figur immer mehr schwindet.

IV. Augenbewegungen.

§ 67. Allgemeine Aufgaben. Motive. — An keinem Gelenk des Körpers lassen sich die Bewegungen mit so grosser Genauigkeit untersuchen, wie an dem Augapfel: theils sind die Krümmungsverhältnisse des Gelenkkopfes genau zu ermitteln, theils der Punkt, um welchen die Drehungen des Augapfels erfolgen, theils die Angriffspunkte und Richtungen, in welchen die Muskeln liegen, genauer als an andern Gliedern des Körpers zu bestimmen. Hauptsächlich aber ist die Netzhaut ein Organ, welches seine eigenen Bewegungen mit einer Genauigkeit und Feinheit selbst ablesen kann, wie es kaum die complicirtesten Instrumente würden möglich machen können. Die bei der Bewegung gebildeten »Spurlinien« der Netzhaut sind ausserdem durch die Nachbilder für einige Zeit zu conserviren und mit objectiven Richtungen und Maassen vergleichbar, so dass wir theils mittelst subjectiver, theils mittelst objectiver Beobachtungen und Messungen die Bewegungen des Augapfels untersuchen können. Ausserdem lässt sich endlich das Reflexbildchen der Hornhaut zu genauen Messungen der Augenbewegungen benutzen.

Die erste Aufgabe für die Untersuchung der Augenbewegungen wird sein müssen, die Lage des Punktes, bezw. der Punkte im Augapfel zu bestimmen, um welche die Drehungen des Auges erfolgen; demnächst sind die Muskelebenen festzustellen, in welchen die Bewegungen durch die anatomisch gegebenen Ansatzpunkte und Richtungen der Muskeln erfolgen, woraus sich zugleich die Drehungsaxen für dieselben ergeben; im Zusammenhange hiermit wird die Bestimmung des Querschnittes der Muskeln zu machen sein, um die Grösse der Kraft zu bestimmen, mit welcher, gleich starke Innervation vorausgesetzt, die Muskeln wirken.

Unabhängig von dieser Reihe von Bestimmungen, welche die mechanischen Momente der Aufgabe darstellen, sind dann die Bewegungen der Augen, welche factisch ausgeführt werden, mittelst der Lageveränderungen der Netzhaut zu bestimmen, daraus zu berechnen, um welche Axen die Bewegungen stattfinden und welchen Umfang die Bewegungen haben. Ferner wird zu untersuchen sein die Coordination der Bewegungen für die beiden Augen oder für »das Doppelgespann der Augen«, oder die Abhängigkeit des einen Auges von dem anderen, woraus sich Schlüsse auf die Innervationsverhältnisse des Doppelauges ableiten lassen. Hierbei ist zu berücksichtigen die Bewegung der Augen bei verschiedener Lage des Kopfes und Körpers im Raume. — Endlich werden diese gesammten Untersuchungen in dem Probleme gipfeln, welches Princip den Augenbewegungen zu Grunde liegt.

Diesem Programme für die Darstellung der Lehre von den Augenbewegungen geht nun die Frage voraus, was uns denn überhaupt veranlasst, die Augen zu bewegen, welche Motive zu den Augenbewegungen wir haben? Es ist schon an verschiedenen Stellen der früheren Abschnitte (u. A. § 60) darauf hingewiesen worden, dass wir das Bestreben haben, die Objecte deutlich zu sehen, und dass wir, da nur mit einer beschränkten Stelle der Netzhäute deutlich gesehen werden kann, diese auf das Object gerichtet werden muss — dass ferner, wenn ein

Object indirect gesehen wird und unsere Aufmerksamkeit erregt, sofort das Bestreben auftritt, das Object direct zu sehen, also unsere Gesichtslinien auf dasselbe zu richten, dass hierzu sogar ein gewisser Zwang vorhanden ist. Wir müssen, wie schon HERING (Die Lehre vom binocularen Sehen 1868, p. 23) auseinandergesetzt hat, in dem Streben, die Objecte deutlich wahrzunehmen, das Motiv zu den Augenbewegungen sehen. Wir unterlassen es, Augenbewegungen zu machen, wenn uns die Wahrnehmungen, welche wir mittelst indirecten Sehens machen, genügen, z. B. beim Gehen auf der Strasse, wenn unsere Aufmerksamkeit etwa auf ein abstractes Problem gerichtet ist, oder in einer Gesellschaft von Personen, welche uns augenblicklich nicht interessiren; sobald aber ein Object unsere Aufmerksamkeit erregt, tritt das Bestreben auf, dasselbe deutlich zu sehen, und damit das Bestreben, unsere Augen auf dasselbe zu richten. Dem Bestreben, ein Object deutlich zu sehen, geht also voraus die Erregung der Aufmerksamkeit auf dasselbe, es folgt ihm mit dem Zwange einer Reflexbewegung die Bewegung unserer Augen, deren Erfolg meistens sofort unserer Intention entspricht. Ausser der Erregung der Aufmerksamkeit bestimmen uns Bewegungen, welche wir mit unsern Gliedmaassen auszuführen beabsichtigen, zur vorherigen Ausführung von Augenbewegungen: um irgend ein Ziel zu treffen, um nach einer Stelle im Raume zu gelangen, fixiren wir dieses Ziel — oft ohne unsere Aufmerksamkeit, wenigstens unsere bewusste Aufmerksamkeit demselben zuzuwenden.

Die Motive zu den Augenbewegungen sind also nicht, wie gleichfalls HERING bemerkt hat, einfache Willensimpulse, zu welchen wir allerdings befähigt sind, die aber nur ausnahmsweise Augenbewegungen auslösen. Solche einfache Willensimpulse werden z. B. zu statuiren sein, wenn der Patient, auf die Aufforderung des Arztes, die Augen nach unten oder oben bewegt, oder der Physiologe eine Convergenzbewegung im Dunkeln macht, um irgend etwas Subjectives zu beobachten und dergleichen. Das sind aber offenbar Ausnahmen — die Regel ist, dass den Bewegungen Gesichtseindrücke voraufgehen, welche nicht den Willensimpuls, sondern die Bewegung auslösen, und zwar eine Bewegung von bestimmter Richtung und Grösse. — Die Augenbewegungen sind in dieser Beziehung sehr ähnlich den Bewegungen unserer Stimm- und Sprachorgane: eine Vorstellung, eine Empfindung erregt nicht den Willen, eine Bewegung mit dem Kehlkopfe u. s. w. zu machen, sondern einen Innervationsapparat von ganz bestimmter Construction — das Gewollte ist nicht die Bewegung, sondern der Ton oder das Wort.

§ 68. Bestimmung des Drehpunktes. — Wenn die Bewegungen des Auges nur um einen Punkt stattfinden sollen, so ist erforderlich 1) dass Bewegungen, bei denen eine Verschiebung des ganzen Bulbus, d. h. eine Verschiebung sämmtlicher Punkte des Bulbus in einer Richtung stattfindet, nicht vorkommen, 2) dass die Gelenkflächen Kugelflächen von gleichem Radius sind. Beides ist nicht genau nachgewiesen. Im Gegentheil geht aus den sogleich zu besprechenden Untersuchungen J. J. MÜLLER's (Untersuchungen über den Drehpunkt des menschlichen Auges. Diss. inaug. Zürich 1868, p. 17 und Archiv für Ophthalm. 1868, XIV. 3, p. 206) hervor, dass bei weiterer Oeffnung der Lidspalte, als sie normal stattfindet, der Bulbus aus der Orbita hervortritt, und zwar

bei Müller selbst um reichlich 1 Mm. Da diese Bewegung wahrscheinlich auf einer Mitbewegung des oberen schiefen Augenmuskels mit dem stark wirkenden Augenlidheber und consecutiver Mitwirkung des unteren schiefen Augenmuskels beruht, so würde auch unter andern Umständen der Fall möglich sein, dass beim Zusammenwirken dieser beiden Muskeln der Bulbus aus der Orbita hervorgezogen würde. — Weiteres scheint indess hierüber nicht bekannt zu sein, und Müller selbst findet bei normaler Oeffnung der Lider keine Verschiebungen sämmtlicher Punkte des ganzen Augapfels. Wir nehmen bei diesem Stande der Untersuchung als das einfachste für die normalen Bewegungen an, dass eine Bewegung sämmtlicher Punkte des Augapfels in irgend einer Richtung nicht stattfindet.

Bei der Weichheit und Gleichmässigkeit des Fettpolsters der Augenhöhle ist es wahrscheinlich, dass dasselbe als Pfanne stets eine der Convexität des Augapfels entsprechende Concavität bildet, und wenn der Bulbus an seiner hinteren Fläche, so weit sie für die Bewegungen des Auges in Betracht kommt, eine Kugelfläche darstellt, so würde auch die Gelenkpfanne als eine solche angesehen werden können. Für das emmetropische Auge darf diese Annahme wohl gemacht werden, dagegen nicht für das myopische Auge, wo diese Fläche ellipsoidisch ist. (Donders, Anomalien der Refraction etc. 1866, p. 341.) Bei dem emmetropischen Auge würden also die für die normalen Bewegungen in Betracht kommenden Flächen nahezu Kugelflächen und der Mittelpunkt der Kugel nothwendig der Drehpunkt derselben sein.

Der Drehpunkt des Auges würde also bestimmt werden können durch Messung der hinteren Krümmungsfläche des Bulbus. Da die Messungen an ausgeschnittenen Augen mit vielerlei Fehlern behaftet sein müssen, so hat man auf anderem Wege den Drehpunkt des Auges zu ermitteln gesucht, indem man entweder die Bewegungen eines Punktes der Hornhaut, oder die Bewegungen der Netzhaut, oder beides zugleich beobachtete.

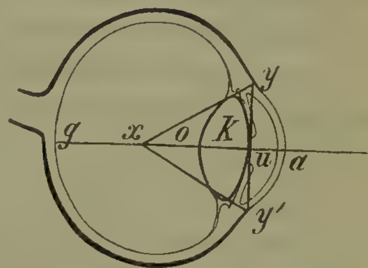
Die erste Methode ist von Junge (Helmholtz, Physiolog. Optik p. 458), so wie von Donders und später modificirt von Donders und Doyer (Donders, Anomalien der Refraction p. 156) angewendet worden. Junge beobachtete mittelst des Ophthalmometers, um wieviel sich die Lichtreflexe beider Hornhäute einander näherten, wenn die Gesichtslinien aus paralleler Stellung in einen bestimmten Convergenzwinkel übergingen, indess wirkte die Ellipticität der Hornhaut störend auf die Berechnung der gewonnenen Resultate. Aehnlich war die erste Methode von Donders.

Später hat Donders eine Methode ersonnen, bei welcher es nicht nöthig ist, auf die Form des elliptischen Hornhautschnittes Rücksicht zu nehmen, und im Verein mit Doyer Messungen an einer grossen Anzahl von Augen angestellt. Die Methode ist kurz in Bd. III. p. 222 dieses Handbuches angegeben. Man bestimmt darnach, wie gross die Bewegungswinkel sein müssen, um die beiden Endpunkte des gemessenen horizontalen Durchmessers der Hornhaut mit ein und demselben Punkte im Raume zusammenfallen zu lassen.

Hat man mittelst des Ophthalmometers nach § 4 den horizontalen Durchmesser der Hornhautbasis und den Winkel zwischen der Gesichtslinie und der Hornhautaxe (Winkel α s. § 4 und 5) bestimmt, und ist das Auge so gestellt, dass seine Hornhautaxe mit der Ophthalmometeraxe zusammenfällt, so wird vor dem Auge ein Ring mit einem feinen Haare angebracht,

welches den Hornhautreflex deckt. Nun wird das Auge unter Betrachtung eines zu verschiebenden Visirzeichens um so viele Grade gedreht, dass statt des Hornhautreflexes der eine Cornealrand von dem feinen Haare gedeckt wird, und darauf so, dass der andere Cornealrand gedeckt wird. Die erhaltene Anzahl von Graden entspricht dem Winkel, welchen das Auge aus dem Bewegungscentrum beschrieben hat. Dieser Winkel betrug im emmetropischen Auge ungefähr 56°. Aus dem halben Durchmesser der Hornhautbasis und der Hälfte des Gesammtbewegungswinkels findet man dann die Entfernung des Bewegungscentrums von der Hornhautbasis gleich dem Product aus dem halben Durchmesser der Hornhautbasis in die Cotangente des halben Gesammtbewegungswinkels. Ist in Figur 95 ga die Hornhautaxe, yy' der Durchmesser der Hornhautbasis, yxy' der gefundene Gesammtbewegungswinkel, so wird das gleichschenklige Dreieck yxy' durch ux in zwei gleiche rechtwinklige Dreiecke getheilt, in welchen $ux = uy \cdot \text{cotang}\, u\hat{x}y$ ist. Addirt man zu ux noch die Hornhauthöhe ua, so findet man ax als die gesuchte Entfernung des Drehpunktes von dem Hornhautscheitel.

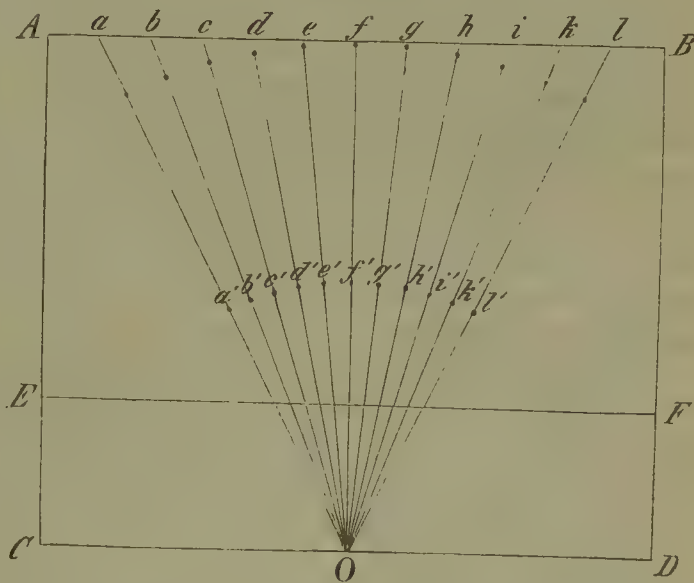
Fig. 95.



Donders und Doyer haben diese Entfernung des Drehpunktes vom Hornhautscheitel in 15 Bestimmungen emmetropischer Augen von Männern gefunden im Mittel = 13,6 Mm.; max. = 14,04 Mm., min. = 13,03 Mm. Bei einer mittleren Länge der Augenaxe von 22,3 Mm. würde mithin der Drehpunkt etwa 8,7 Mm. von der Netzhaut und ungefähr 10 Mm. von der hintern Fläche der Sklera entfernt liegen, also etwa 2 Mm. hinter der Mitte der Sehaxe; Donders berechnet nur 1,77 Mm. hinter der Mitte der Sehaxe.

Grösser fanden Donders und Doyer die Entfernung des Drehpunktes von dem Hornhautscheitel bei Myopen, nämlich = 14,52 Mm., kleiner für Hypermetropen, nämlich = 13,22 Mm. — Woinow (Arch. f. Ophthalm. XVI. 1, p. 250) fand nach dieser Methode für seine Augen als Abstand des Drehpunktes von der Hornhautbasis 11,37 Mm., die Höhe der Hornhaut 2,6 Mm., also für die Entfernung des Drehpunktes von dem Hornhautscheitel 13,97 Mm., was den Donders-Doyer'schen Werthen sich bestätigend anschliesst.

Fig. 96.



Volkmann (Berichte der Leipziger Akademie 1869, p. 28) und vielleicht vor ihm Schljachtin (Woinow, Archiv f. Ophthalm. XVI. 1, p. 245) ging von dem Gedanken aus, dass, wenn der Drehpunkt bei den Bewegungen des Auges unverändert bliebe, Doppelobjecte auf Radien eines Kreises aufgestellt, in dessen Mittelpunkt sich der Drehpunkt des Auges befände, sich bei allen Bewegungen des Auges decken müssten.

Werden auf einer Tafel, Figur 96, von dem Punkte O aus Radien gezogen, und an deren Endpunkten $a, b, c \ldots g$, ebenso auf den Radien an den Punkten $a', b', c' \ldots g'$ feine Nadeln aufgesteckt, dann das Stück der Tafel $CEDF$ abgeschnitten und bei sorgfältig fixirtem Kopfe die Tafel so vor das eine Auge gebracht, dass die Linie ff' mit der Gesichtslinie zusammenfällt, so findet sich bei gewisser Stellung der Tafel eine Lage des Auges zu derselben, wo bei jeder beliebigen Blickrichtung die beiden in einer Visirlinie gelegenen Nadeln sich decken. Das kann nur stattfinden, wenn der Drehpunkt sich in O befindet. Bei Lage der Tafel in der horizontalen, so wie in der sagittalen Ebene des Auges blieben die Deckungsphänomene dieselben: es giebt also einen constanten Drehpunkt für die Augenbewegungen.

Den Ort des Drehpunktes bestimmte Volkmann ähnlich wie Donders aus der Grösse der Sehne des Bogens und dem Winkel desselben, da der Quotient aus der halben Sehne in den Sinus des halben Winkels den Radius des Bogens ergiebt. Volkmann bestimmte die Länge des Weges, welchen der Mittelpunkt der Pupille bei einer Drehbewegung des Auges um einen bestimmten Winkel durchläuft, mit Hülfe eines Fernrohrs mit Ocularmikrometer aus einer Entfernung von 3 M. bei etwa 25facher Vergrösserung; er fand als Totalmittel aus 43 Beobachtungen an 10 Personen für horizontale und verticale Drehungen für die Entfernung des Drehpunktes von der Pupille 11,01 Mm. (max. 12,1 — min. 9,6 Mm.). Addirt man hierzu als Entfernung des Hornhautscheitels von der Pupille den Donders'schen Werth von 2,36 Mm., so würde der Volkmann'sche Werth von 13,37 Mm. für die Entfernung des Drehpunktes von dem Hornhautscheitel nur wenig von dem Donders-Doyer'schen Mittelwerthe (13,6 Mm.) differiren.

Eine der Volkmann'schen ähnliche Methode benutzte Woinow (Arch. f. Ophthalm. 1870, XVI. 1, p. 247); — sie ist beschrieben in Bd. III. 1, p. 231 dieses Handbuchs — und fand den Drehpunkt seines rechten Auges 14,0 Mm., seines linken Auges 14,1 Mm. von dem Hornhautscheitel entfernt. Da Woinow's Augenaxe bis zur empfindenden Netzhautschicht 21,826 Mm. beträgt, so würde der Abstand des Drehpunktes vom hinteren Pole des Auges nur 7,8543 Mm. betragen, also 2,56 Mm. hinter dem Mittelpunkte der Augenaxe liegen. In sehr einfacher Weise wies Woinow das Vorhandensein eines constanten Drehpunktes nach, indem er durch ein Netz von quadratischen Maschen auf eine Tafel mit proportionalen Quadraten visirte, und fand, dass sich die Linien bei allen Bewegungen deckten.

Eine von den bisherigen Methoden verschiedene Art der Bestimmung des Drehpunktes wendete J. J. Müller (Diss. inaug. Zürich 1868 und Arch. f. Ophthalmologie 1868, XIV. 3, p. 183) unter Leitung von A. Fick an: er bestimmte den Ort, nach welchem der Hornhautscheitel von der Netzhaut desselben Auges hin projicirt wird bei verschiedenen Stellungen des Auges und fand aus diesen Orten und den Richtungen der Projectionslinien durch Construction den Punkt, in welchem sich die Projectionslinien schneiden, so wie die Entfernung dieses Punktes von dem Hornhautscheitel.

Müller benutzte hierzu zwei unter 45° gegen einander geneigte Planspiegel (nicht »prismatische« Spiegel, wie es Bd. III. 1, p. 230 dieses Handbuches heisst), von denen der eine das Profilbild des Auges in den zweiten Planspiegel so reflectirt, dass das Auge in diesem sein eignes Profilbild erblickt; in den Spiegeln ist je eine senkrechte Linie durch die Folie gekratzt, mit welcher der Scheitelpunkt der Hornhaut in dem Bilde zusammenfallen muss; der Punkt, wo die Linien den Scheitelpunkt tangiren, wird in eine bestimmte Entfernung projicirt. Durch eine an dem Apparate unbeweglich angebrachte rechtwinklige Platte, welche zugleich den Fuss des Apparates bildet, wird auf einem mit Papier überzogenen horizontalen Zeichnenbrette der Ort der Projection des Hornhautscheitels und die Richtung desselben zur Gesichtslinie markirt durch zwei Linien, nachdem der Apparat für das Auge den Bedingungen gemäss ein-

gestellt worden ist. Darauf wird das Auge bewegt, der Apparat wiederum eingestellt und auf dem Zeichnenbrette die neue Lage und Richtung der Projection markirt u. s. w. Man erhält auf diese Weise eine Anzahl rechter Winkel auf dem Papier verzeichnet, deren eine Linie die Projectionslinie ist, welche unter einem rechten Winkel von der andern Linie an dem Orte der Projection geschnitten wird. Treffen die Verlängerungen der Projectionslinien in einem Punkte zusammen, so ist dies der Drehpunkt, um welchen die Bewegungen erfolgten. Da die Entfernung des Ortes der Projection des Hornhautscheitels in einem durch den Apparat selbst gegebenen Verhältnisse zu dem wirklichen Orte des Hornhautscheitels steht, so ergiebt die Abmessung auf der Projectionslinie zugleich die Entfernung der von dem Hornhautscheitel in den verschiedenen Lagen des Auges durchlaufenen Punkte von dem Drehpunkte.

J. J. Müller fand, wie oben erwähnt, bei dieser Versuchsmethode die auffallende, auch später von Donders (Arch. f. Ophthalm. 1871, XVII. 1, p. 99) und Berlin (ebenda XVII. 2, p. 190) auf andere Weise bestätigte Thatsache; dass bei sehr weiter Oeffnung der Lidspalte der Augapfel aus der Augenhöhle nach vorn tritt, also eine Bewegung sämmtlicher Punkte des Augapfels in ein und derselben Richtung stattfinden kann. Er fand ferner bestätigend, dass bei Bewegung des Blickes in der Blickebene (Visirebene) der Augapfel sich um einen festen Punkt dreht, welcher bei ihm (Myopie $^1/_{10}$) für sein rechtes Auge im Mittel von über 100 Einzelbestimmungen = 13,19 Mm., für sein linkes Auge 14,56 Mm. betrug, bei gerader Haltung des Kopfes und Bewegung der Blickebene im Horizont des Kopfes. Ausserdem fand er eine andere Lage des Drehpunktes bei gehobener und gesenkter Blickebene: bei um 20° gehobener Blickebene ergab sich nämlich für das rechte Auge kaum abweichend 13,29 Mm. für die Entfernung des Drehpunktes vom Hornhautscheitel, für sein linkes Auge dagegen 15,16 Mm. und bei um 20° gesenkter Blickebene für das rechte Auge 12,87 Mm., für das linke 14,34 Mm. Das Zurücktreten des Drehpunktes leitet Müller aus der mit der Hebung der Blickebene verbundenen stärkeren Oeffnung der Lidspalte ab.

Zu ganz bestätigenden Resultaten gelangte Berlin (Arch. f. Ophthalm. 1871, XVII. 2, p. 158) nach einer andern, früher schon von Volkmann (Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes 1836, p. 35) benutzten, aber vervollkommneten Methode, indem er die scheinbare perspectivische Verschiebung ungleich weit vom Auge entfernter Objecte beim directen und indirecten Sehen bestimmte, und daraus die Entfernung des in der Pupillarebene gelegenen Kreuzungspunktes der Visirlinien von dem Drehpunkte des Auges berechnete.

Sind in Figur 97 N und W Punkte, auf welche visirt wird, ist ferner V ein leuchtender Punkt, auf welchen mittelst indirecten Sehens visirt, und welcher durch ein kleines in L aufgestelltes Object dabei verdeckt wird, so werden sich die beiden Visirlinien in dem Mittelpunkte der Pupillarebene schneiden. Wird nun das Auge so bewegt, dass es direct auf den Punkt V blickt, so ist derselbe von L nicht mehr verdeckt, sondern das verdeckende Object muss nach R geschoben werden, wenn es den Punkt V verdecken soll; ebenso wird der indirect gesehene Punkt W nicht mehr von N verdeckt, sondern das Object muss nach K geschoben werden, wenn dies der Fall sein soll. Es ergiebt sich daraus eine Entfernung von dem Pupillencentrum p zu dem Bewegungscentrum $o = op$. Denn aus der Aehnlichkeit der Dreiecke WVo und NRo, so wie der Dreiecke WVP und LNP ergiebt sich

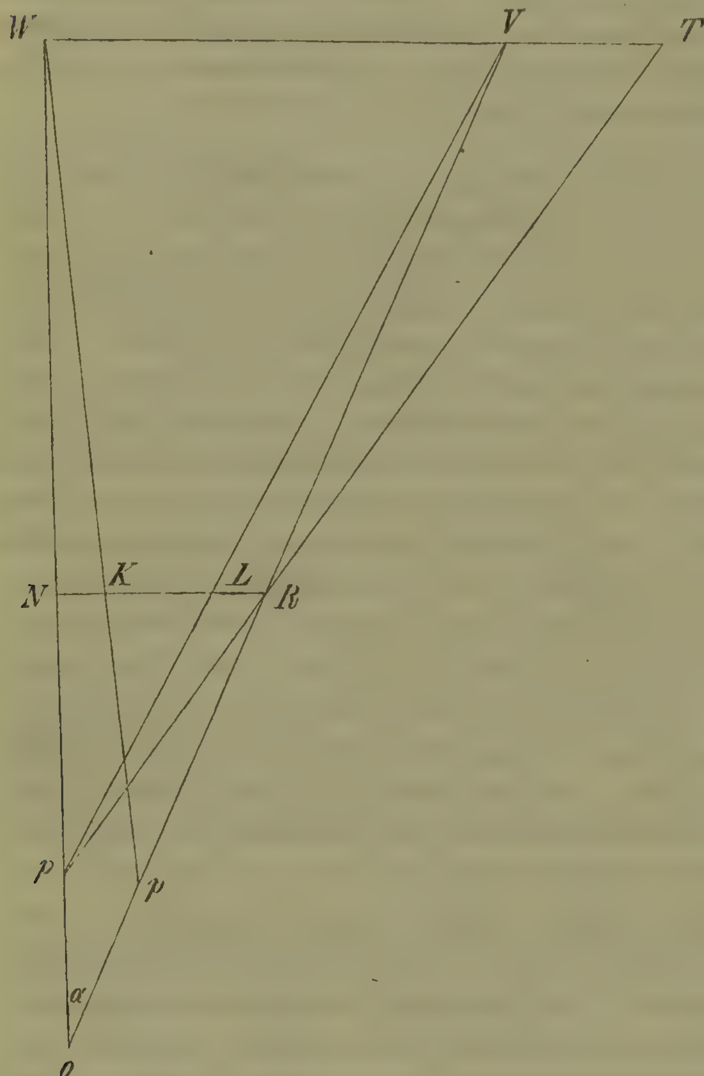
$$op = \frac{WN \cdot WV \cdot LR}{(WN - NL)(WV - NL - LR)}$$

Der Winkel α, um welchen sich das Auge gedreht hat, findet sich aber aus

$$\tang \alpha = \frac{WV - NR}{WN}.$$

Da die Grössen der Linien WV, WN u. s. w. sämmtlich gemessen sind, so findet sich daraus die Entfernung des Drehpunktes von dem Pupillarcentrum.

Fig. 97.



Der Apparat besteht in der Hauptsache aus zwei sich deckenden sehr feinen Nadeln, einem leuchtenden Punkte in V und einer kleinen Platte, welche frei eingestellt werden kann, so dass der leuchtende Punkt verdeckt wird. Selbstverständlich muss der Kopf sicher fixirt sein, ebenso der Apparat zur Messung.

Berlin fand für sein linkes, $^1/_{30}$ myopisches Auge bei Bewegung der Gesichtslinie im Horizonte des Kopfes den Drehpunkt im Mittel 14,41 Mm. von dem Hornhautscheitel, bei um 22° gehobener Blicklinie 14,81 Mm., bei um 20° gesenkter Blicklinie 14,32 Mm. entfernt. Etwas grösser sind die Differenzen für Berlin's rechtes Auge mit Myopie $^1/_{14}$. — Aus weiteren Untersuchungen Berlin's ergiebt sich, dass bei horizontalen Bewegungen keine Bewegung des ganzen Augapfels in einer Richtung erfolgt, wohl aber, dass bei verticalen und bei diagonalen Bewegungen Verschiebungen des ganzen Augapfels nach vorwärts und nach rückwärts erfolgen, so dass also nur für die horizontalen Bewegungen ein constanter Drehpunkt des Auges vorhanden ist. Die Verschiebungen des Augapfels leitet Berlin von Wirkungen des *M. levator palpebrae sup.* und der *Mm. obliqui* ab.

Wir müssen indess hervorheben, dass J. J. Müller Myop $^1/_{10}$ auf beiden Augen, Berlin Myop auf dem rechten Auge $^1/_{30}$, auf dem linken Auge $^1/_{14}$ ist, und dass die beobachteten Verschiebungen des ganzen Bulbus nur etwa 0,5 Mm. betragen. Es wird daher für die meisten Untersuchungen über Augenbewegungen erlaubt sein, einen nahezu constanten Drehpunkt des Auges anzunehmen, welcher im Mittel etwa 13,5 Mm. von dem Hornhautscheitel bei emmetropischen Augen entfernt ist.

§ 69. Wirkung der Augenmuskeln. — Abgesehen von den im vorigen Paragraph angeführten kleinen Verschiebungen des Augapfels in Folge von stärkeren

Bewegungen der Augenlider und von Verschiebungen desselben in Folge stärkerer oder schwächerer Füllung der Blutgefässe in der Augenhöhle sind die Bewegungen des Augapfels im Wesentlichen nur Drehungen; diese Drehbewegungen werden ausgeführt durch die Zusammenziehungen der sechs Augenmuskeln. Ihre Wirkung auf den Augapfel ist abhängig von der Richtung, in welcher sie ziehen, und von der Grösse ihrer Verkürzung und ihrem Volumen. Die Richtung, in welcher sie wirken, hängt ab von dem Orte, an welchem sie sich am Augapfel und an den Wandungen der Augenhöhle ansetzen. Unter der Annahme eines constanten Drehpunktes kann ihre Wirkung in Bezug auf Drehungen des Augapfels nur in einer durch den Drehpunkt und ihren Ansatz an den Bulbus gelegten Ebene, der Muskelebene erfolgen, zu welcher die Drehungsaxe normal ist. Wir haben also für die 6 Augenmuskeln 6 Muskelebenen mit zugehörigen, zu ihnen rechtwinkligen Drehungsaxen, wenn wir annehmen: 1) dass jeder Muskel sich nicht partiell, mit einzelnen Bündeln, sondern immer total contrahirt; 2) dass sich während seiner Contraction die Richtung, in welcher er wirkt, nicht verändert. Unter diesen Annahmen können wir den Ansatz des Muskels am Augapfel und seinen Ursprung von den Wandungen der Augenhöhle auf einen Punkt, den Mittelpunkt des Ansatzes, bezw. des Ursprunges reduciren: diese beiden Punkte und der Drehpunkt des Augapfels bestimmen dann die Lage der Muskelebene für jeden Grad der Zusammenziehung des Muskels.

Bestimmungen dieser Muskelebenen sind unter den erwähnten Annahmen von Fick (Zeitschrift für rationelle Medicin 1854, Neue Folge Bd. IV. p. 101), Ruete (Ein neues Ophthalmotrop 1857, p. 8) und am ausgedehntesten und genauesten von Volkmann (Berichte der Leipziger Akademie 1869, p. 45) gemacht worden. Alle drei Beobachter bestimmten den Ursprungs- und Ansatzpunkt jedes Muskels in Bezug auf ein rechtwinkliges Coordinatensystem in der Augenhöhle und im Augapfel, dessen Anfangspunkt mit dem Drehpunkte zusammenfällt. Die x-Axe desselben liegt in der Verbindungslinie der beiden Drehpunkte oder dem transversalen Durchmesser des Augapfels, die y-Axe fällt mit der Gesichtslinie (Sehaxe, Blicklinie) zusammen, die z-Axe steht vertical auf der Ebene, welche durch die xy-Axen bestimmt ist. Das Coordinatensystem des Augapfels fällt mit dem Coordinatensystem der Augenhöhle bei derjenigen Augenstellung zusammen, bei welcher die Gesichtslinien parallel gerichtet sind und bei aufrechter Stellung und gerader Kopfhaltung horizontal liegen: diese Lage bezeichnet Volkmann als die Normalstellung des Auges. Ferner nehmen alle Beobachter denjenigen Theil der x-Axe, welcher nach aussen (lateral) vom Drehpunkte gerichtet ist, als positiv, desgleichen den Theil der y-Axe, welcher nach hinten, und den Theil der z-Axe, welcher nach oben gerichtet ist.

Volkmann fand zunächst in 60 Beobachtungen die Distanz der beiden y-Axen oder der beiden Drehpunkte von einander im Mittel 63,5 Mm.; er betrachtet ferner den Augapfel als eine Kugel von 12,25 Mm. Radius; die Distanz der Ursprungsstellen der geraden Augenmuskeln in der Augenhöhle bis zum Drehpunkte = 31,76 Mm. (für den R. externus = 34 Mm., für den R. internus = 30 Mm.); die Distanz der beiden Ursprungsstellen (am *Foramen opticum*) von einander = 29,1 Mm., woraus sich die Distanz der Ursprungsstellen von der y-Axe etwa = 16 Mm. ergiebt; auf die x-Axe bezogen würde also, da die Ursprungsstelle nach innen (medianwärts) vom Drehpunkte gelegen ist, die Distanz auf der

x-Axe = 16 Mm. betragen; endlich auf der z-Axe würde die Ursprungsstelle = 0,6 Mm. sein, d. h. ein wenig über der Horizontalebene des Auges liegen. Ferner würde nach VOLKMANN die y-Axe etwa mitten inne zwischen dem äussern und innern Orbitalrande gelegen sein und beinahe auch mitten zwischen dem oberen und unteren Orbitalrande, nämlich vom oberen 16,7 Mm., vom unteren 17,2 Mm., die x-Axe aber beinahe mit der Verbindungslinie der beiden äussern Orbitalränder zusammenfallen, da sie nur 0,64 Mm. hinter der Verbindungslinie liegt. Indem wir bezüglich der Ursprünge der *Mm. obliqui* auf VOLKMANN verweisen, geben wir in der folgenden Tabelle XXV nach VOLKMANN eine Uebersicht der Ordinaten der Ursprünge und Ansätze der Augenmuskeln in Bezug auf die positiven x-y- und z-Axen, indem wir noch bemerken, dass VOLKMANN (l. c. p. 46) die Ansätze der oberen und unteren geraden Augenmuskeln in die Sagittalebene, der innern und äussern geraden Augenmuskeln in die Horizontalebene des Augapfels fallend annimmt. — VOLKMANN's Zahlen weichen nicht unerheblich von denen FICK's und RUETE's ab, scheinen aber die zuverlässigsten zu sein.

Tabelle XXV. (VOLKMANN.)

Muskeln.	Ursprünge.			Ansätze.		
	x	y	z	x	y	z
Rectus superior	—16	31,76	3,6	0	—7,63	10,48
- inferior	—16	31,76	—2,4	0	—8,02	—10,24
- externus	—13	34,0	0,6	10,08	—6,50	0
- internus	—17	3,0	0,6	—9,65	—8,84	0
Obliquus superior	—15,27	—8,24	12,25	2,90	4,41	11,05
- inferior	—11,1	—11,34	—15,46	—8,71	7,18	0

Aus diesen Zahlen lassen sich nun die Lagen der Muskelebenen und damit zugleich die Lagen der normal zur Muskelebene liegenden Drehungsaxen in Bezug auf die Coordinatenaxen bestimmen. Wir folgen dabei im Ganzen der Ableitung, welche FICK (l. c. p. 112 u. f.) gegeben hat.

Man denke sich die Drehungsaxe durch die Muskelebenen halbirt; die Coordinaten ihrer Pole seien bezw. a, b, c und α, β, γ, und die Coordinaten der Ebene x, y, z. Die Abstände der beiden Pole von dem Punkte x, y, z sind nach dem Begriffe der Ebene einander gleich und die Quadrate derselben gleich $(x-a)^2+(y-b)^2+(z-c)^2=(x-\alpha)^2+(y-\beta)^2+(z-\gamma)^2$.

Hieraus ergiebt sich durch eine einfache Reduction die allgemeine Gleichung der Ebene, nämlich

$$(a-\alpha)x+(b-\beta)y+(c-\gamma)z = \tfrac{1}{2}(a^2+b^2+c^2-\alpha^2-\beta^2-\gamma^2)$$

allgemein $Ax+By+Cz=D$

oder $\frac{A}{D}x+\frac{B}{D}y+\frac{C}{D}z=1.$

(Vergl. CAUCHY, Vorlesungen über die Anwendung der Infinitesimalrechnung auf die Geometrie. Deutsch von SCHNUSE 1840, p. 14 u. f. — BURG, Compendium der höheren Mathematik. Wien 1859, p. 382.)

Da es nun auf die Bestimmung der Lage der Drehungsaxe ankommt und diese durch den Coordinatenanfangspunkt geht, so wird an der Allgemeinheit der Betrachtung nichts geändert, wenn wir uns die Ebene vorläufig noch ausserhalb des Coordinatenanfangspunktes denken und den einen Pol der Axe in demselben. Dann ist

$$a=b=c=0$$

und, wenn in Figur 98 die halbe Drehungsaxe OM mit p bezeichnet wird,

$$\alpha x + \beta y + \gamma z = \tfrac{1}{2}(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) = 2p^2.$$

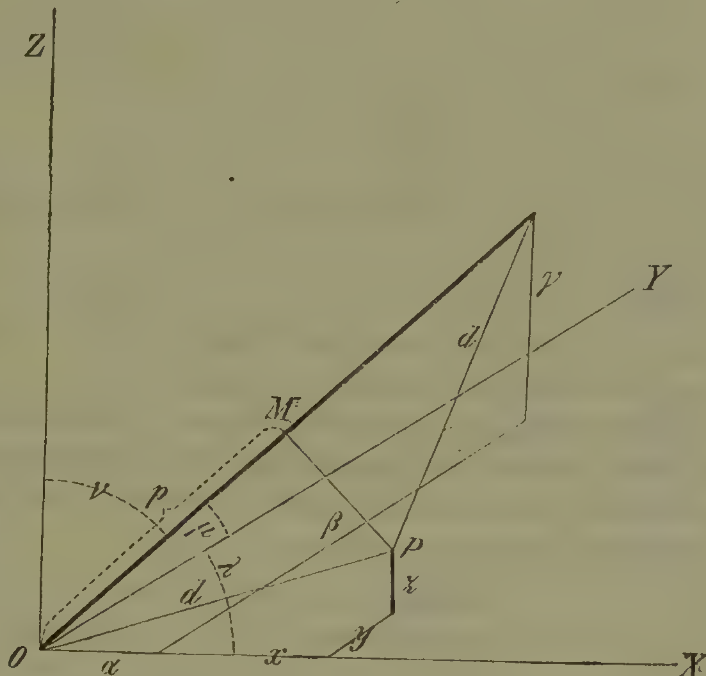
Die Winkel, welche die Drehungsaxe mit den drei Coordinatenaxen bildet, seien bezw. λ, μ, ν; dann ist

$$\cos\lambda = \frac{\alpha}{2p}, \quad \cos\mu = \frac{\beta}{2p}, \quad \cos\nu = \frac{\gamma}{2p}.$$

und wenn wir die sich hieraus ergebenden Werthe von α, β und γ in die Gleichung der Ebene substituiren

$$x \cdot \cos\lambda + y\cos\mu + z\cos\nu = p$$

Fig. 98.



wenn p den Abstand der Ebene vom Anfangspunkte des Coordinatensystems bezeichnet. Es ist nun für die Ebene

sowohl
$$x\frac{\cos\lambda}{p} + y\frac{\cos\mu}{p} + z\frac{\cos\nu}{p} = 1,$$

als auch
$$x\frac{A}{D} + y\frac{B}{D} + z\frac{C}{D} = 1,$$

folglich
$$\cos\lambda = p\frac{A}{D}, \quad \cos\mu = p\frac{B}{D}, \quad \cos\nu = p\frac{C}{D}$$

und wegen
$$\cos\lambda^2 + \cos\mu^2 + \cos\nu^2 = 1 = p^2\frac{A^2}{D^2} + p^2\frac{B^2}{D^2} + p^2\frac{C^2}{D^2}$$

ist
$$p = \frac{D}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \frac{D}{R}$$

und darnach

$$\cos\lambda = \frac{A}{R}, \quad \cos\mu = \frac{B}{R}, \quad \cos\nu = \frac{C}{R}$$

Die Werthe A, B, C und R ergeben sich nun weiter aus den festen Punkten der Ebene (x_u, y_u, z_u), (x_a, y_a, z_a), wobei die Indices u bezw. a die Coordinaten des Ursprunges bezw. des Ansatzes desselben Muskels bedeuten, — und der Bestimmung, dass die Ebene durch den Coordinatenanfangspunkt geht. In diesem Falle ist nämlich $p = 0$, und die allgemeine Gleichung der Punkte der Ebene

$$x \cdot \cos\lambda + y\cos\mu + z\cos\nu = 0 \qquad 1)$$

Also haben wir

$$x_u\cos\lambda + y_u\cos\mu + z_u\cos\nu = 0 \qquad 2)$$

$$x_a\cos\lambda + y_a\cos\mu + z_a\cos\nu = 0 \qquad 3)$$

und

$$\cos\lambda^2 + \cos\mu^2 + \cos\nu^2 = 1 \qquad 4)$$

Durch Auflösung der letzten 3 Gleichungen nach λ, μ und ν erhalten wir

$$\cos\lambda = \frac{y_a z_u - y_u z_a}{\sqrt{(y_a z_u - y_u z_a)^2 + (z_a x_u - z_u x_a)^2 + (x_a y_u - x_u y_a)^2}}$$

oder, wenn wir den Divisor $= R$ setzen

$$\cos\lambda = \frac{y_a z_u - y_u z_a}{R} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \mathrm{I})$$

und ebenso

$$\cos\mu = \frac{z_a x_u - z_u x_a}{R} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \mathrm{II})$$

$$\cos\nu = \frac{x_a y_u - x_u y_a}{R} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \mathrm{III})$$

Setzt man diese Werthe I, II, III in die Gleichung 1) ein, so erhält man als Gleichung der Muskelebene

$$(y_a z_u - y_u z_a)\,x + (z_a x_u - z_u x_a)\,y + (x_a y_u - x_u y_a)\,z = 0.$$

Die Winkel λ, μ, ν bezeichnen also die Winkel, welche die Drehungsaxen der Muskeln mit den rechtwinkligen Coordinatenaxen bezw. x, y, z bilden, wenn die positive x-Axe nach aussen, bezw. y nach hinten, z nach oben geht.

Volkmann hat diese Winkel mit Zugrundelegung der in Tabelle XXV. zusammengestellten Werthe berechnet nach den Formeln I) II) III) und die in Tabelle XXVI. verzeichneten Werthe erhalten.

Tabelle XXVI.

	λ	μ	ν
Rectus superior	150° 5′	113° 47′	107° 5′
- inferior	148° 7′	114°	71° 26′
- externus	90° 52′	91° 20′	1° 25′
- internus	89° 19′	90° 45′	1° 1′
Obliquus superior . . .	53° 46′	146° 42′	79° 15′
- inferior	50° 47′	140° 6′	83° 46′

Es ergiebt sich daraus für einen isolirt wirkenden Muskel gedacht die Richtung der Axe, um welche er dreht, in Bezug auf Aussen, Hinten und Oben, so wie Innen, Vorn und Unten, indem jeder Winkel unter 90° die ersteren Richtungen, jeder Winkel über 90° die zweiten entgegengesetzten Richtungen in Bezug auf die positiven festen Coordinatenaxen bedeutet. — (cf. Bd. VI. dieses Handbuches Capitel IX. p. 3.)

Es geht daraus hervor:

1) dass für keinen der 6 Muskeln die Drehungsaxe mit einer der Coordinatenaxen zusammenfällt, mithin die Drehung des Augapfels nach oben und unten, innen und aussen nur durch die combinirte Wirkung von wenigstens 2 Muskeln erfolgen kann;

2) dass die 3 Muskelpaare nicht directe Antagonisten sind, indem weder die Drehungsaxe des R. superior mit der des R. inferior, noch die des R. externus

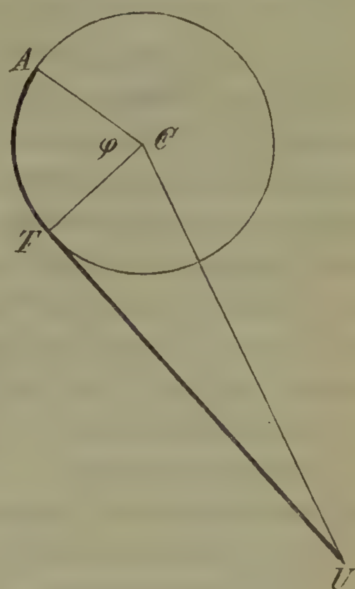
mit der des R. internus und noch weniger die des Obliq. superior mit der des Obliq. inferior zusammenfällt. Gemeinschaftliche Drehungsaxen für die zugehörigen Muskelpaare sind also immer mit beträchtlichen Fehlern behaftete Fictionen.

Nur ganz ungefähr würde man annehmen können, dass die gemeinschaftliche Drehungsaxe für den R. sup. und infer. in der x-y-Ebene gelegen sei und mit der Sehaxe einen Winkel von ungefähr 66° bildete — dass die gemeinschaftliche Drehungsaxe für den R. extern. und intern. mit der z-Axe zusammfiele, endlich eine Drehungsaxe für die beiden Obliqui etwa um 8° gegen die x-y-Ebene geneigt wäre von aussen und oben nach innen und unten, gegen die Sehaxe aber nur etwa 37° von vorn und aussen nach hinten und innen verliefe.

Ausser von der Richtung der Muskeln ist die Wirkung, d. h. das Drehungsmoment derselben abhängig von ihrer Länge und ihrem Querschnitt. Auch hierüber hat Volkmann Messungen gemacht, aus denen sich ergiebt, dass die 4 Mm. recti eine ziemlich gleiche Länge im erschlafften Zustande, also in der Normalstellung des Augapfels, haben, nämlich ungefähr 40 Mm. — die Obliqui dagegen nur 32—34 Mm. lang sind. Der Querschnitt zeigt beträchtliche Differenzen: am dicksten ist der R. externus = 17,4 □Mm., R. extern. 16,7, R. infer. 15,8, R. super. 11,3, Obliq. sup. 8,4, Obliq. inf. 7,9 □Mm. — Die Kräfte der Muskeln sind also bei Voraussetzung gleichmässiger Innervationsstärke offenbar sehr verschieden für die einzelnen Muskeln, schon wenn es sich um eine Bewegung von der Normalstellung des Auges aus handelt; bei jeder andern Stellung wird, abhängig von dem schon vorhandenen Contractionszustande bezw. dem Drehungsgrade der Antagonisten, das Verhältniss noch viel verwickelter. Volkmann nimmt indess an, dass für manche Bewegungen des Auges »gewisse ungünstige Verhältnisse in der Lage der Drehaxen durch eine geeignete Vertheilung der Muskelkräfte compensirt werden können«, und z. B. eine Drehung um die Sehaxe aufgehoben werden könnte bei einem Zusammenwirken der beiden Obliqui und des oberen und unteren geraden Augenmuskels. (cf. Volkmann l. c. p. 69, Fick l. c. p. 125, Wundt, Arch. f. Ophthalm. 1862, VIII. 2, p. 40 u. f.)

Noch ein wichtiger Umstand bei der Wirkung der Augenmuskeln auf die Bewegung des Augapfels ist hervorzuheben, nämlich die Grösse der Muskelverkürzung im Verhältniss zu der Länge desjenigen, dem Augapfel anliegenden Theiles der Muskeln, welcher bei der Zusammenziehung der Muskeln von dem Augapfel abgewickelt werden kann. Fände eine solche Abwickelung nicht statt, so würden Zerrungen und Dislocationen des Augapfels, also keine reine Drehung um einen Punkt stattfinden, ein Umstand, auf den schon Fick, l. c. p. 110, aufmerksam gemacht hat.

Fig. 99.



Volkmann bestimmte nun die Länge der an dem Augapfel aufgewickelten Muskelstrecke und verglich damit zunächst die bekannte Länge des ganzen Muskels: die Differenz beider Längen giebt das Verkürzungsmaximum des Muskels bei reiner Drehwirkung. Ist in Figur 99 A der Ansatz, U der Ursprung des

Muskels, AT die auf den Bulbus aufgewickelte Strecke, C der Drehpunkt, so ist $AT = r \cdot \text{arc.}\,\varphi$; UT ist direct messbar; $UT + AT$ ist die ganze Länge des Muskels $= L$ in der Normalstellung und AT die Grösse seiner Verkürzung $= \lambda$, daher $\frac{\lambda}{L}$ der Ausdruck für die Contractilität des Muskels. Die Augenmuskeln verkürzen sich nach VOLKMANN's Bestimmungen im Mittel nur um ein Viertel ihrer Länge, also nur halb so viel, wie die Skelettmuskeln nach WEBER's Untersuchungen (Berichte der Leipziger Akademie 1851, p. 63). Dann sind bei dieser geringen Verkürzung die Grössen des Winkels φ etwas grösser, als die am lebenden Menschen stattfindenden Winkelbewegungen der Augen fordern würden. Wir stellen, indem wir auf § 56 und § 74 verweisen, VOLKMANN's Zahlen für den Winkel φ mit den von ihm an lebenden Menschen bestimmten maximalen Bewegungen des Auges zusammen.

Tabelle XXVII. (VOLKMANN.)

$\angle\,\varphi$ als Maass der Augenbewegung.			Grösse der Augenbewegung am Lebenden.		
R. superior	41° 48′	83° 31′	Nach oben	35°	85°
- inferior	41° 43′		- unten	50°	
- internus	29° 31′	90° 14′	- innen	42°	80°
- externus	60° 43′		- aussen	38°	
Obl. super.	26° 55′	105° 13′	- oben innen	38°	84°
- infer.	78° 18′		- unten aussen	46°	
			- unten innen	44°	82°
			- oben aussen	38°	

Da die Normalstellung nicht gleichbedeutend ist mit der Primärstellung, von welcher aus wohl die Bewegungen an Lebenden ausgegangen sind, so werden wir nur die Summen der beiden Excursionen in ein und demselben Meridiane vergleichen können, und finden dann, dass die Abwickelung der Muskeln noch nicht ganz, aber doch fast vollständig stattfindet. Für die schiefen Augenmuskeln ist die Vergleichung der beiden Grössen wohl überhaupt etwas bedenklich.

Es wird nun jedenfalls nach der vollständigen Abwickelung des Muskels eine bedeutende Hemmung für weitere Zusammenziehung des Muskels durch die Befestigung desselben gesetzt werden, und darin ausser der von MERKEL (I. 1, p. 59 dieses Handbuches) hervorgehobenen Hemmungsvorrichtung auch eine Hemmungsvorrichtung gegeben sein. Es ist aber gegen VOLKMANN's Berechnungen der Abwickelungsgrösse geltend zu machen, dass der Augapfel keine Kugel ist, um deren Mittelpunkt die Bewegungen stattfinden, sondern, dass der Drehpunkt viel weiter nach hinten gelegen ist; die Werthe für $\angle\,\varphi$ würden also sämmtlich etwas grösser werden, so dass MERKEL's Hemmungsvorrichtung schon vor der vollständigen Abwickelung zur Geltung kommen würde. — Ausserdem würde für die Bestimmung des Verhältnisses von $\angle\,\varphi$ zu den factisch stattfindenden Bewegungen wohl kaum ein einziger Muskel bei Ausführung einer Bewegung in irgend welcher Richtung allein zur Wirkung kommen.

Die Untersuchung der Betheiligung der einzelnen Muskeln an der Ausführung einer Bewegung wird noch dadurch erschwert, dass die Widerstände für eine bestimmte Bewegung nicht zu bestimmen sind: weder die durch die Bindege-

websbefestigung, noch die durch die Elasticität des Opticusstieles, noch die durch den Antagonismus der Muskeln gesetzten Widerstände sind bekannt. Hering (Lehre vom binocularen Sehen p. 112) sagt daher: »die Halbaxe des Drehbestrebens eines Muskels ist nicht nothwendig auch die Halbaxe der wirklichen Drehung, die er herbeiführt«. Indem wir daher von den Versuchen Fick's und Wundt's, die einzelnen Antheile der Muskeln bei einer einfachen Bewegung zu berechnen, absehen, führen wir nur die Muskelcombinationen an, welche bei Drehungen um die verticale Axe und die horizontale Queraxe hauptsächlich in Betracht kommen dürften. Für die Bewegung

nach innen (Convergenzbewegung): R. internus (R. super., Obl. infer.),
nach aussen (Divergenzbewegung): R. externus (Obliq. super.),
nach oben (Hebung): R. superior und Obliq. inferior,
nach unten (Senkung): R. inferior und Obliq. superior.

Zu einer schematischen Veranschaulichung der Augenmuskelwirkungen dienen die Ophthalmotrope. Das erste Ophthalmotrop wurde von Ruete (Das Ophthalmotrop 1846, abgedruckt aus den Göttinger Studien 1845) construirt und später von ihm (Ein neues Ophthalmotrop 1857) vervollständigt. Die Augäpfel, durch Holzkugeln mit einer Röhre, welche vorn mit einer Linse, hinten mit einer matten Glasplatte und mit verticalem und horizontalem Meridiane versehen sind, repräsentirt, werden mit der Hand eingestellt und die nach Ansatz und Ursprung auf Grund der Messungen von Ruete dargestellten, durch Fäden repräsentirten Muskeln zeigen dann an einer Skala die ihnen bei einer bestimmten Bewegung ertheilten Verschiebungen, entsprechend den Contractionen und Dehnungen derselben. Ein vereinfachtes Modell des Ophthalmotrops wurde von Knapp angegeben; es ist beschrieben und abgebildet von Helmholtz (Physiologische Optik p. 526, Figur 168). Ein anderes Ophthalmotrop wurde von Wundt (Arch. f. Ophthalm. 1862, VIII. 2, p. 88) construirt zur Erläuterung des von ihm aufgestellten Princips von der geringsten Anstrengung der Muskeln bei den Augenbewegungen. Durch Belastung der an dem Augapfel befestigten, die Muskeln repräsentirenden Fäden werden die Bewegungen des Augapfels herbeigeführt und durch Verschiebung von Skalen die Grösse des Muskelzuges controlirt.

Physiologie der Augenbewegungen.

§ 70. Nomenclatur und Untersuchungsmethoden. — Die bisherigen Erörterungen bilden nur eine Grundlage dafür, was für Bewegungen nach den anatomischen Verhältnissen physikalisch möglich sind — die weitere Frage ist nun, welche von den möglichen Bewegungen des Augapfels werden wirklich ausgeführt? Wir werden in der Folge finden, dass die den Zwecken des Sehens dienenden Augenbewegungen nur einen kleinen Theil der möglichen Augenbewegungen ausmachen, und dass ausserdem die Bewegungen des einen Auges fast ausnahmslos associirt sind mit den Bewegungen des anderen Auges — dass überhaupt die Augenbewegungen von einer nach bestimmten Gesetzen geordneten Innervation beherrscht und dirigirt werden.

Die Untersuchungen der Augenbewegung haben eine besondere Terminologie geschaffen, die zur Vermeidung von Wiederholungen und Missverständnissen in den Hauptsachen vorangeschickt werden soll. Da das Sehen mit bewegten Augen Blicken genannt wird, so hat man davon abgeleitet: Blickpunkt, ein Punkt, auf welchen man blickt, oder welchen man fixirt, daher gleichbedeutend mit Fixationspunkt; — Blicklinie, eine Linie, welche man sich vom fixirten Punkte durch den Drehpunkt des Auges gehend denkt, und welche zur Zeit noch als

identisch mit der Gesichtslinie angesehen werden muss. Sie ist zu unterscheiden von der Blickrichtung (s. § 60, Figur 79), welche HERING (Binoculares Sehen p. 4) binoculare Blicklinie nennt; — Blickebene ist eine durch die beiden Blicklinien oder Gesichtslinien gelegte Ebene, sie differirt nicht merklich von der Visirebene; — Blickfeld (HELMHOLTZ, Physiol. Optik p. 461) ist das Feld oder die Fläche, welche der Blick oder die Blicklinie durchlaufen kann bei unbeweglich gedachtem oder gehaltenem Kopf und Körper. Davon zu unterscheiden ist der Blickraum (HERING, Binoc. Sehen p. 43) als die Gesammtheit der Punkte, welche bei ein und derselben Kopflage binocular fixirt werden können; — Blicklage bedeutet die Lage des Blickpunktes bezw. der Blicklinien.

Man reducirt ferner die Bewegungen auf die 3 Dimensionen des Raumes, oder auf ein rechtwinkliges Coordinatensystem und unterscheidet Erhebungen und Seitenwendungen des Blickes, misst die Grösse derselben nach dem Winkel, und hat also Erhebungswinkel (positiv bei Bewegung der Blickebene nach oben, negativ bei Bewegung nach unten) und Seitenwendungswinkel. FICK bezeichnet die Erhebungswinkel als Latitudo, den Seitenwendungswinkel als Longitudo im Anschluss an die geographischen Benennungen am Bulbus. (Moleschott's Untersuchungen zur Naturl. 1859, V. p. 200.) Ausserdem hat man Convergenzbewegungen bezw. Convergenzwinkel.

Die Seitenwendungen werden auch als gleichseitige Bewegungen bezeichnet und sind unsymmetrische Bewegungen, insofern dabei das eine Auge nach innen (medianwärts), das andere nach aussen (lateralwärts) bewegt wird — während die Convergenzbewegungen ungleichseitige und symmetrische Bewegungen sind. Die Erhebungen erfolgen um die x-Axe oder den transversalen Durchmesser, die Seitenwendungen um die z-Axe oder den verticalen Durchmesser des Auges. Endlich werden Bewegungen um die y-Axe oder um die Gesichtslinie oder Blicklinie als Rollungen mit Rollungswinkeln (HERING, Binoc. Sehen p. 72) bezeichnet. Wir kommen darauf in § 72 zurück. HUECK nannte diese Bewegungen »Axendrehungen«. (HUECK, Die Axendrehung des Auges, Programm Dorpat 1838.) Der Ausdruck »Raddrehung« bezieht sich nur auf die Verdrehung der Netzhautbilder, wenn dieselben auf eine ebene Fläche und nicht auf eine dem kugelförmigen Gesichtsfelde entsprechende Kugelfläche bezogen werden. (cf. HERING, Binoc. Sehen 1868, p. 67. — DONDERS, Archiv für Ophthalmologie 1870, XVI. 1, p. 167. — SCHÖN, ibid. 1874, XX. 2, p. 172.)

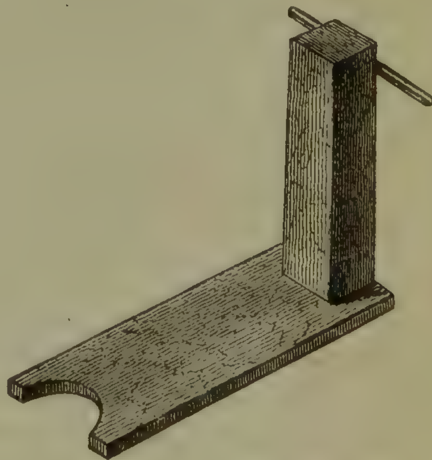
Endlich ist es nothwendig, bei der Untersuchung der Augenbewegungen von einer bestimmten Stellung der Augen auszugehen, welche als Primärstellung von LISTING (RUETE, Lehrbuch der Ophthalmologie 1854, I. p. 37 und Ein neues Ophthalmotrop 1857, p. 13) charakterisirt worden ist dadurch, dass von der Primärstellung der Blicklinien ausgehende reine Erhebungen oder reine Seitenwendungen keine Drehung um die Gesichtslinie hervorbringen. Bei dieser Primärstellung sind die Gesichtslinien parallel, die Lage der Blickebene und die Stellung des Kopfes aber individuell verschieden und durch Versuche zu ermitteln, wie wir in § 72 besprechen werden. Alle übrigen Stellungen werden Secundärstellungen genannt.

Die hier zu berücksichtigenden Kopfstellungen bezeichnet man nach DONDERS (Holländische Beiträge 1848, I. p. 127) folgendermassen: die gewöhnliche Stellung des Kopfes bei gerader Haltung ist die verticale Kopfstellung, die Bewegungen nach rechts und links sind Neigungen oder seitliche Neigungen, die Bewegungen nach vorn und hinten Beugungen.

Die Methoden, welche man zur Untersuchung der Augenbewegungen angewendet hat, beruhen fast alle auf der Beobachtung der Veränderungen, welche die Netzhautprojectionen in ihrer Lage gegen die Lage von festen Punkten im Raume erleiden. 1) Nur HUECK (l. c. p. 16) und controlirend TOURTUAL (Müller's Archiv 1840, p. XV) und DONDERS (l. c. p. 118) haben bestimmte Punkte der Iris oder Conjunctiva als Merkzeichen der Verschiebung bei Bewegungen des Auges und namentlich des Kopfes beobachtet. — 2) Die Beobachtung der Nachbilder von linearen Objecten wurde von RUETE (Lehrbuch der Ophthalmologie 1845, p. 14 und Ophthalmotrop 1846, p. 9) vorgeschlagen, von DONDERS (Holl. Beiträge 1848, p. 120) zur Methode entwickelt, und diese Methode später namentlich von HELMHOLTZ (Arch. f. Ophthalm. 1863, IX. 2, p. 173) sehr vervollkommnet. — 3) Beobachtung des Parallelismus oder der Neigung von Doppelbildern bei verschiedenen Stellungen des Kopfes und der Augen, von MEISSNER (Beiträge zur Physiologie des Sehorgans 1854, p. 11) zuerst angewendet, später von HERING (Binoculares Sehen 1868, p. 92) in vervollkommneter Form benutzt. — 4) Beobachtung der veränderten Lage der Purkinje'schen Aderfigur (MEISSNER, ibid. p. 76). — 5) Beobachtung der veränderten Lage des Mariotte'schen Fleckes von MEISSNER (ibid. p. 70) vorgeschlagen und von FICK (Moleschott's Untersuchungen 1859, Bd. V. p. 198) zu Messungen benutzt. — 7) Methode mit binocularen Bildern, welchen eine solche Lage gegeben wird, dass sie bei Parallelstellung der Gesichtslinien zu einem Bilde verschmelzen. Von HERING (Beiträge III. 1863, p. 71) angegeben, von VOLKMANN (Physiol. Unters. II. 1864, p. 236) und später von HERING (Binoc. Sehen p. 83) weiter ausgebildet.

Für alle diese Methoden ist von fundamentaler Wichtigkeit eine genaue Fixirung oder Controlirung der Kopfstellung. Hierfür wurde erst von HELMHOLTZ (Arch. f. Ophthalm. 1863, IX. 2, p. 173) gesorgt und eine sehr einfache und zweckmässige Vorrichtung angegeben, das in Figur 100 abgebildete Visirzeichen. Es besteht aus einem etwa 15 Ctm. langen Brettchen mit einem runden Ausschnitt, welcher, mit heissem Siegellack bedeckt, vor dem Erstarren des Siegellacks zwischen die Zahnreihen festgedrückt wird, bis der Siegellack erkaltet ist. Die Lage des Brettchens zum Kopfe ist dann immer unverrückbar dieselbe. Am andern Ende trägt das Brettchen eine kleine Säule, welche etwas über die Verbindungslinie der beiden Augenmittelpunkte emporragt, und an dieser ist ein beiderseits zugespitzter Papierstreifen oder Stab wagerecht befestigt von der Länge des Abstandes der beiden Knotenpunkte und so eingestellt, dass bei Parallelstellung der Gesichtslinien die Spitzen der

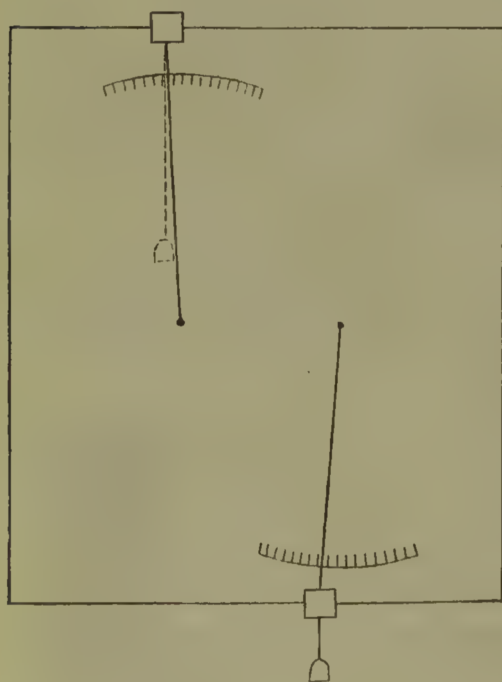
Fig. 100.



Doppelbilder des Stabes einander eben berühren, und bei Fixation eines fernen Punktes mit demselben zusammenfallen. Man kann also bei der Wiederaufnahme der Beobachtungen immer sicher sein, die frühere Stellung dem fixirten Punkte und den sonstigen zu beobachtenden Lineamenten gegenüber einzunehmen. Berthold (Archiv für Ophthalm. 1865, XI. 3, p. 107) hat an dem Brettchen des Helmholtz'schen Visirzeichens noch ein Pendel mit Gradbogen angebracht, um die Neigung des Kopfes oder der Visirebene messen zu können. Hering (Binoculares Sehen 1868, p. 78) hat statt des Visirzeichens einen Apparat construirt, durch welchen auch mittelst eines Zahnbrettchens der Kopf fixirt und verschieden eingestellt, dabei die jeweilige Stellung des Kopfes in Bezug auf Beugung abgelesen werden kann.

Was dann die bei diesen Methoden benutzten Beobachtungsobjecte und ihre Aufstellung betrifft, so benutzt man bei der Nachbildermethode lebhaft gefärbte verticale und horizontale Streifen (Donders, Helmholtz) oder die Grenzen zweier farbiger Flächen (Hering) an einer verticalen Wand und projicirt das Nachbild der Streifen oder der Grenzlinie auf Linien an der Wand, welche den Streifen parallel sind. Bei einer Entfernung der Streifen und der Wand von 6—7 Meter kann man die Gesichtslinien als annähernd parallel annehmen. — Bei der Methode mit Doppelbildern, welche hauptsächlich für Convergenzstellungen zu verwerthen ist, fixirt man einen etwa 10 bis 20 Mm. vor der feinen Linie, von welcher man Doppelbilder erhalten will, gelegenen Punkt aus einer Entfernung von 200 bis 300 Mm. und betrachtet die Objecte bei verschiedenen Augenstellungen, oder folgt den Bewegungen, welche man mit den Objecten macht, mit den Augen, indem man unverrückt den Fixationspunkt fixirt und dabei die Lage der indirect gesehenen Doppelbilder der Linie beachtet. — Bei der Methode mit binocularen Bildern bietet man jedem Auge eine feine verticale oder nach Umständen geneigte Linie, deren Mittelpunkte markirt sind, und um die Distanz der Augenmittelpunkte, oder bei Convergenzstellungen entsprechend weniger von einander entfernt sind, und beachtet, ob das Sammelbild der beiden Linien einfach ist, oder ob die Linien beim Zusammenfallen der markirten Punkte sich kreuzen — oder man bietet, wie in Figur 101, dem einen Auge eine von der Marke nach oben, dem andern Auge eine von der Marke nach unten verlaufende Linie (oder Faden) und beobachtet, ob beim Zusammenfallen der beiden Marken die Linien durch die Marke geknickt verlaufen, oder ob sie eine continuirliche Gerade bilden; die Linien können, wie die Figur zeigt, Winkel mit der Verticalen bilden, um zu einer continuirlichen Geraden vereinigt zu werden.

Fig. 101.

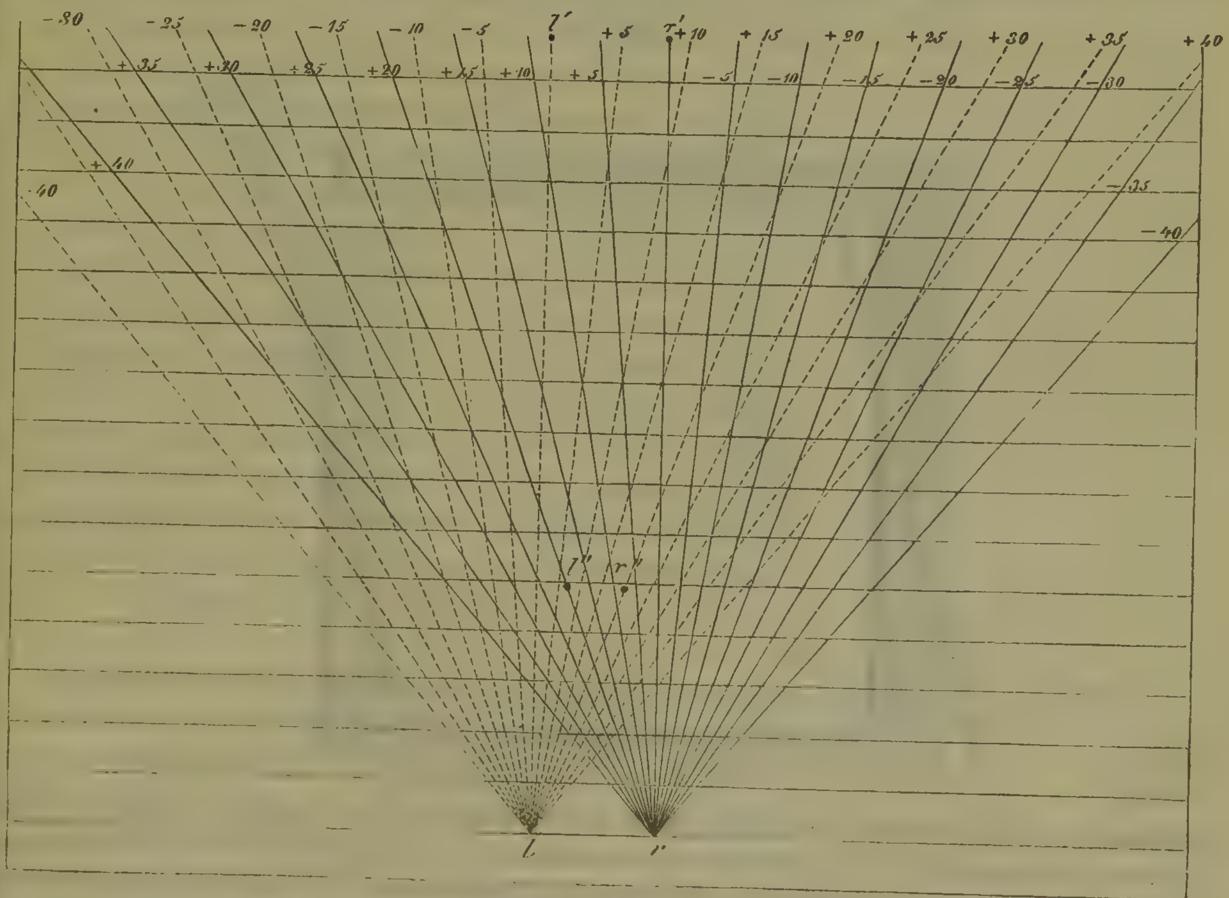


Der Apparat zur Beobachtung mit Nachbildern von Helmholtz (Archiv f. Ophthalm. 1863, IX. 2, p. 182) besteht aus einem mit grauem Papier überspannten Zeichnenbrett, auf

welches Vertical- und Horizontallinien gezogen sind; längs der Mitte der mittlen Verticallinie ist ein schmaler grüner Streifen auf der Mitte eines etwas breiteren rothen Streifens angebracht. In der Mitte des grünen Streifens, dem Schnittpunkte der verticalen und horizontalen Linie entsprechend, ist ein schwarzes Tüpfelchen zur Bezeichnung des Fixationspunktes angebracht. An dieser Mittelstelle ist ein kleines Glasspiegelchen unter den rothen Streifen geschoben: in den unbedeckten Stellen des Spiegelchens sieht das beobachtende Auge das Bild seiner Iris und Pupille und hat sich so zu stellen, dass das Pupillencentrum in einer auf der Ebene des Zeichnenbrettes Normalen liegt. Das Brett kann um diese Normale als Axe gedreht und eingestellt und Bewegungen des Blicks dem Streifen entlang gemacht werden, um die Stellung des Nachbildes zu beobachten.

Zur Untersuchung mit binocularen Bildern benutzte HERING (Binoculares Sehen p. 85) als Objecte für das eine Auge zwei vertical gespannte schwarze Rosshaare, für das andere Auge ein ebenso gespanntes weisses Rosshaar. Die beiden schwarzen Rosshaare sind an einem langen Messingstreifen befestigt, dessen Drehpunkt von jedem Haare um 1 Mm. auf jeder Seite entfernt ist; das weisse Rosshaar ist gleichfalls auf einem Messingstreifen befestigt und geht durch den Drehpunkt desselben hindurch; die beiden Drehpunkte liegen gerade den beiden Augen gegenüber, so dass sie bei parallel gerichteten Gesichtslinien in einen Punkt zusammenfallen. Die beiden Messingstreifen sind um ihre Drehpunkte drehbar und die Grösse ihrer Winkelverschiebung an einem graduirten Kreisbogen mit einem an dem Messingstreifen befestigten Nonius auf Minuten ablesbar. Aufgabe ist, die beiden schwarzen Haare so zu stellen, dass das weisse Rosshaar mitten zwischen ihnen und genau parallel zu ihnen erscheint. Die beiden Messingstreifen sind auf einer grauen Tafel angebracht. — Die Tafel kann auf einem Tische verschoben werden, welcher mit Lineamenten, wie in Figur 102, versehen ist: l und r

Fig. 102.



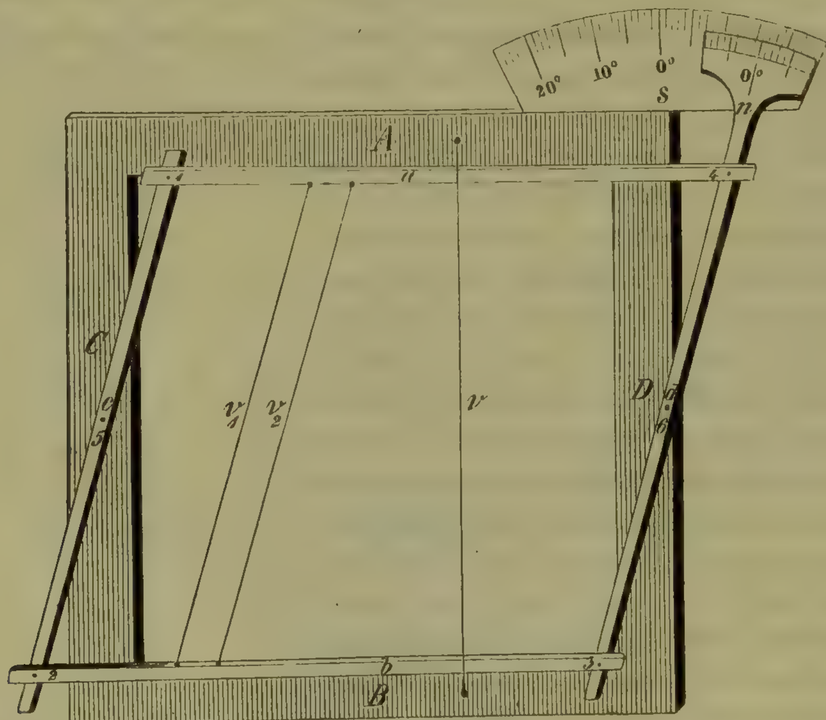
entsprechen den Drehpunkten des linken und rechten Auges, deren Gesichtslinien bei Parallelstellung in der Horizontalebene gleiche Richtung mit den Linien ll' und rr' haben. Die von

l und *r* ausgehenden radialen Linien dienen dazu, die Punkte anzugeben, auf welche die graue Beobachtungstafel eingestellt werden muss, wenn die Gesichtslinien Seitenwendungen machen sollen. Neigungen des Kopfes werden an dem Hering'schen Kopfhalter abgelesen. Die Parallellinien der Figur 102 dienen zur Controle, dass die graue Tafel immer parallel der Grundlinie (Verbindungslinie der beiden Augendrehpunkte) aufgestellt wird. — Um die Vorrichtung für Convergenzstellungen zu benutzen, müssen die beiden Messingstreifen mit den Haaren einander entsprechend genähert werden; durch Einstellung z. B. des linken Streifens auf den mit + 20° bezeichneten Radius des rechten Radiensystems und Einstellung des rechten Streifens auf den mit + 20° bezeichneten Radius des linken Radiensystems (l'' und r'' Figur 102) hat man, wenn das weisse Rosshaar zwischen den beiden schwarzen erscheinen soll, einen Convergenzwinkel der Gesichtslinien von 40°.

Einen der Hering'schen Vorrichtung sich anschliessenden Apparat, welcher die Stellung der verticalen und horizontalen Trennungslinien bei verschiedenen Augenbewegungen »schnell, sicher und genau« festzustellen ermöglicht, hat Donders (Onderzoekingen in het Physiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool 1875, Derde Reeks III. 2, p. 45) kürzlich angegeben und Isoscop genannt. Das Isoscop, in Verbindung mit dem Hering'schen, etwas modificirten Kopfhalter, beruht auch auf der Methode der binoculären Bilder und besteht aus einem feststehenden Rahmen, welcher einen verticalen Draht für das eine Auge bietet, und einem verschiebbaren Rahmen, welcher ein oder mehrere, zuerst auch vertical gestellte Drähte dem andern Auge bietet: die Aufgabe ist, den verschiebbaren Rahmen so einzustellen, dass die binocular projicirten Drähte einander parallel erscheinen. Entsprechend sind horizontale Drähte an dem festen und einem stellbaren Rahmen angebracht. Die Einstellung ist in wenigen Sekunden von dem Beobachter zu machen und ist genau bis auf 0,02°.

Figur 103 zeigt die ungefähre Einrichtung des Donders'schen Isoscops: *ABCD* ist der rechtwinklige feststehende Rahmen, mit dem verticalen Drahte *V*, *abcd* der verschiebbare

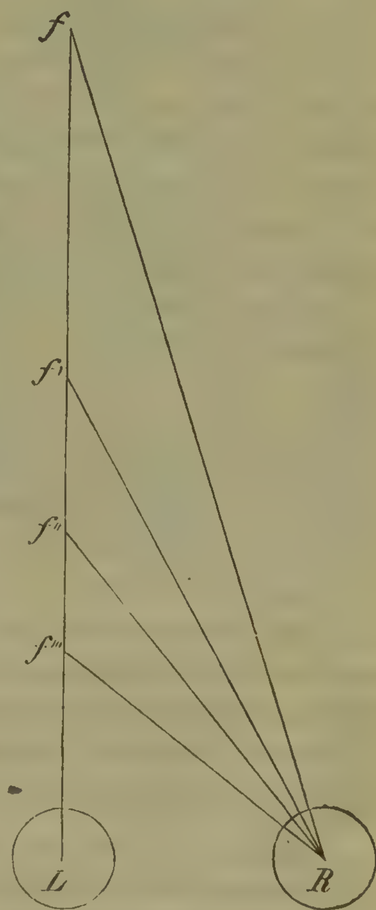
Fig. 103.



Rahmen, welcher sich um die Axen 5 und 6 drehen kann, und an welchem die beiden Drähte v_1 und v_2 befestigt sind; an dem festen Rahmen ist der Gradbogen *s*, an dem verschiebbaren Rahmen der Nonius *n* befestigt. — Die genauere Beschreibung des Apparates, der Methode der Handhabung desselben, namentlich der richtigen Einstellung der Augen würde hier zu weit führen und ist im Original nachzusehen.

§ 71. Association der Bewegungen beider Augen. Bevor wir auf die Resultate, die durch diese verschiedenen Methoden gewonnen worden sind, im Specielleren eingehen, müssen wir zunächst im Ganzen und Grossen die Art, in welcher die Augen bewegt werden, charakterisiren. So weit wir die Augen als Sinneswerkzeuge zur Wahrnehmung der Objecte benutzen, finden wir eine vollständige Abhängigkeit der Augen von einander in ihren Bewegungen oder eine durchgreifende Association derselben, welche sich bis zu den geringsten Einzelheiten bewährt. 1) Bei Erhebungen und Senkungen des Blickes sind die Erhebungswinkel für beide Augen stets die gleichen, mögen wir die Bewegungen von einer Parallelstellung der Blicklinien oder von einer Convergenzstellung derselben aus vornehmen. Es ist dabei gleichgültig, ob wir das eine Auge bedecken, oder beide frei lassen, ob das eine Auge erblindet ist, ob wir alle Willensenergie aufbieten, um nur das eine Auge nach oben zu bewegen, oder unbewusst unsere Augen bewegen, denn auch bei Schlafenden haben die Augen gleiche Erhebung und ebenso bei Chloroformirten und Ohnmächtigen. 2) Dieselbe Association oder Mitbewegung des einen Auges mit dem anderen finden wir auch bei den Seitenwendungen: eine scheinbare Abweichung von dieser Regel beruht nur auf einer intercurrirenden, für sich auch in gleicher Weise associirten Bewegung. Bewegen wir nämlich die Augen nach rechts oder nach links, ohne dass dabei eine Convergenzbewegung stattfindet, also zum Beispiel an Punkten eines Kreises hin, dessen Mittelpunkt in der Mitte zwischen den beiden Drehpunkten der Augen liegt, so ist die Seitenwendung der beiden Augen ganz gleich; denken wir uns anderseits, die Augen bewegten sich an der Medianlinie (der Linie, in welcher die Medianebene und die Blickebene sich schneiden) von der Parallelstellung der Gesichtslinien zu immer grösserer Convergenz entlang, so würde stets der Winkel, welchen die Gesichtslinie des einen Auges mit der Medianlinie bildet, gleich sein dem Winkel, welchen die Gesichtslinie des anderen Auges mit der Medianlinie bildet. Es wird also der Fall eintreten können, dass für das eine Auge die Convergenzbewegung gerade so gross ist als die Seitenwendung, mithin dieses Auge scheinbar unbewegt bleibt, während das andere Auge sich nach der Seite des scheinbar unbewegten Auges hin wendet: wir würden also den Fall haben, dass das eine Auge eine Seitenwendung macht, das andere nicht. Dieser Fall wird eintreten, wenn der Blickpunkt f auf der Gesichtslinie des scheinbar unbewegten Auges über f', f'' bis f''' immer näher rückt, wie Figur 104 anschaulich macht. Allein hier combiniren sich, wie gesagt, zweierlei Bewegungen, nämlich Seitenwendung und Convergenz, wie sich theils aus der mit der Convergenzbewegung veränderten Pupillenweite der Augen (§ 76), theils aus dem von Hering (Binoc. Sehen p. 11 u. 97) geltend

Fig. 104.



gemachten und durch Versuche nachgewiesenen Umstande ergiebt, dass bei dem scheinbar unbewegten Auge eine kleine Drehung um die Gesichtslinie, eine Rollung eintritt, wie sie der entsprechenden Stellung zukommt. Es sind mithin associirte Bewegungen beider Augen vorhanden sowohl für die Seitenwendung, wie für die Convergenzbewegung. Ein Entgegenwirken der beiden Bewegungsarten mit dem angegebenen Erfolge wird nur dadurch möglich, dass die Seitenwendungen gleichseitig und unsymmetrisch, die Convergenzbewegungen aber ungleichseitig und symmetrisch erfolgen: für das scheinbar unbewegte Auge also die gleichseitige Bewegung gerade so gross ist, als die erforderliche ungleichseitige Bewegung.

Was von den einfachen Erhebungen und Seitenwendungen gilt, das gilt auch von denjenigen Bewegungen, in welchen Erhebung und Seitenwendung combinirt sind: wird also z. B. bei Parallelstellung der Gesichtslinien (wir setzen diese, um unnöthige Complicationen zu vermeiden) das rechte Auge nach oben und rechts gewendet, so bewegt sich das linke Auge mit gleicher Excursion nach oben und rechts u. s. w.

Wie wir schon in § 60 die Abhängigkeit der beiden Augen von einander in Beziehung auf die Richtung des Projicirens erwähnt und die beiden Augen nach Hering als Doppelauge angesehen haben, so müssen wir auch in Bezug auf die Bewegungen mit Hering (Binoc. Sehen 1868, p. 3) ein Doppelauge statuiren, welches Hering treffend mit einem Doppelgespann vergleicht, welches mit einfachen Zügeln geleitet und von dem Willen wie ein Organ gehandhabt wird. Wir werden die Bedeutung dieser harmonirenden Bewegungen der beiden Augen für das Sehen in § 76 zu erläutern haben, ich will aber schon hier darauf hinweisen, dass die Harmonie unserer Augenbewegungen in einem für unsere Orientirung sehr wichtigen Zusammenhange mit den Bewegungen des Kopfes steht: wir können Erhebungen und Seitenbewegungen der Blicklinien bei unbewegten Augen fast in gleicher Weise durch die Bewegungen des Kopfes herbeiführen, wie bei unbewegtem Kopfe durch Bewegungen der Augen, und wir verfahren beim gewöhnlichen Sehen so, dass wir Kopf- und Augenbewegungen zugleich ausführen, also z. B. um nach oben zu sehen, sowohl den Kopf nach rückwärts beugen, als auch unser Doppelauge nach oben richten; beim Sehen nach rechts nicht blos die Augen, sondern zugleich den Kopf nach rechts wenden, und es bedarf sogar besonderer Dressur, z. B. bei den Soldaten oder beim Experimentator, um die Kopfbewegungen auszuschliessen. Offenbar würde eine Unterstützung der Augenbewegungen durch Kopfbewegungen nicht in dem Maasse stattfinden können, wenn die beiden Augen sich nicht als Doppelauge, sondern jedes für sich, wie beim Chamaeleon, bewegten, und es würde bei Combination von Augen- und Kopfbewegungen die richtige Orientirung gestört werden. Wir werden in § 76 sehen, dass die Unterstützung der Augenbewegungen durch Kopfbewegungen in der Einrichtung des Innervationscentrums begründet ist.

Die Frage, ob die Association der Augenbewegungen erworben oder angeboren ist, kann ich mit Johannes Müller (Handbuch der Physiologie 1840, II. p. 103) und Hering (Binoc. Sehen p. 6) nur dahin beantworten, dass ich sie für angeboren ansehen muss. Die Augenbewegungen sind nicht erlernt, wie etwa die Bewegungen des Gehens, oder sonstige uns geläufige Bewegungen, sondern sind schon bei den jüngsten Kindern eben so associirt, wie beim Erwachsenen. Es ist gewiss denkbar, dass wenn durch eine Reihe von Generationen hindurch

ein Bewegungsmodus, wie wir ihn beim Chamaeleon finden, eingeübt würde, dann die Menschen mit diesem anderen Bewegungsmodus ausgestattet geboren werden würden — finde indess, dass derartige Speculationen nicht mehr in die Physiologie gehören.

Wir werden in § 75 einige Ausnahmen von gleichmässiger Association zu erwähnen haben, welche indess zugleich die grosse Festigkeit der Association darzuthun geeignet sind.

§ 72. Bewegungen aus der Primärstellung. Das Listing'sche und Donders'sche Gesetz. — Von besonderem Interesse für die Physiologie der Augenbewegungen ist die Frage, ob mit den Erhebungen, Seitenwendungen und Convergenzen der Blicklinien Drehungen des Auges um die Blicklinie stattfinden? Diese Frage steht nämlich in engster Verbindung mit unserer Wahrnehmung der Dimensionen des Raumes oder mit unserer Orientirung im Raume. Denken wir uns irgend eine Blicklage, oder Augenstellung, bei welcher sich eine Linie z. B. vertical auf unseren Netzhäuten abbildet und denken wir uns dann eine zweite Blicklage, bei welcher wieder ein verticales Bild auf der Netzhaut entworfen wird, so würde, wenn sich die Netzhaut beim Uebergange aus der ersten in die zweite Lage um die Gesichtslinie gedreht hätte, das Netzhautbild der ersten Lage einen Winkel bilden mit dem Netzhautbilde der zweiten Lage und es würde uns die eine Linie vertical, die andere geneigt zur Verticalen erscheinen, und wir würden in Zweifel sein, ob die gesehene Linie vertical ist oder nicht. Für viele Blicklagen tritt dieser Fall in der That ein, und zwar in sehr verschiedenem Grade — es giebt aber eine Blicklage, aus welcher heraus jede gerade Blickbewegung ohne eine Drehung des Auges um die Gesichtslinie erfolgt, diese Blicklage heisst die Primärstellung. Dieser Satz wird das Listing'sche Gesetz genannt, da es von Listing (Ruete, Lehrbuch der Ophthalmologie 1854, I. p. 37) zuerst (freilich in anderer Form) ausgesprochen worden ist. Listing hat es in folgender Form hingestellt: »Aus der Primärstellung wird das Auge in irgend eine andere, secundäre, durch die Cooperation der sechs Muskeln in der Weise versetzt, dass man sich diese Versetzung als das Resultat einer Drehung um eine bestimmte Drehungsaxe vorstellen kann, welche, jederzeit durch das Augencentrum gehend, auf der primären und der secundären Richtung der optischen Axe senkrecht steht, so dass also jede secundäre Stellung des Auges zur primären in der Relation steht, vermöge welcher die auf die optische Axe projicirte Drehung = 0 wird.«

Ich führe noch die Form an, in welcher Helmholtz (Physiol. Optik p. 466) und Hering (Binoculares Sehen p. 64) das Listing'sche Gesetz aussprechen; Helmholtz: »Wenn (bei parallel gerichteten normalsichtigen Augen) die Blicklinie aus ihrer Primärstellung übergeführt wird in irgend eine andere Stellung, so ist die Raddrehung des Augapfels in dieser zweiten Stellung eine solche, als wäre er um eine feste Axe gedreht worden, die zur ersten und zweiten Richtung der Blicklinie senkrecht steht.« — Hering: »Es giebt eine gewisse Stellung der Gesichtslinie (relativ zum Kopfe), die sogenannte Primärstellung, aus welcher heraus die Gesichtslinie nach jeder beliebigen Richtung hin eine ebene Bahn beschreiben, oder der Blick einer geraden Linie entlang laufen kann, ohne dass dabei das Auge irgend welche Rollung um die Gesichtslinie erfährt, eine Stellung also, aus welcher das Auge nach allen Richtungen hin um eine feste, zur Gesichtslinie senkrechte Axe gedreht werden kann.«

Zur Charakterisirung der Primärstellung diene noch Folgendes: 1) bei der Primärstellung sind die Gesichtslinien parallel; 2) denkt man sich durch die Gesichtslinie in der Primärstellung alle möglichen Ebenen (die primären Meridianebenen) gelegt, so stellen diese Ebenen die Gesammtheit derjenigen Bahnen dar, welche die Gesichtslinie beschreiben kann ohne Rollung des Auges; 3) die Durchmesser, welche bei Primärstellung senkrecht zur Gesichtslinie durch den Drehpunkt des Auges gehen, sind die Axen für die Bewegungen aus der Primärstellung — sie bilden eine zur Gesichtslinie senkrechte Ebene (primäre Axenebene). (Hering, Binoc. Sehen p. 65); 4) alle Blickbewegungen, welche nicht von der Primärstellung ausgehen und auch nicht durch die Primärstellung hindurchgehen, sind mit einer Rollung um die Gesichtslinie verbunden.

Der letzte Satz ist nur der negative Ausdruck des Listing'schen Gesetzes, kommt aber zur Geltung, wenn es sich um die Auffindung der Primärstellung, welche für jedes Individuum durch Versuche zu ermitteln ist, handelt. Listing hat sein Gesetz nicht durch Versuche bewiesen, dies ist erst von Helmholtz (Arch. f. Ophthalm. 1863, IX. 2, p. 175) ausgeführt worden und zwar mittelst der Nachbildermethode (§ 70, 2): richtet man die parallelen Gesichtslinien auf einen irgendwie gerichteten farbigen Streifen an einer entfernten Wand einige Sekunden, um ein Nachbild von dem Streifen zu bekommen, und bewegt dann die parallelen Gesichtslinien an der Wand hin genau in der Richtung des Streifens, so behält das Nachbild nur dann die Richtung, in der die Bewegung stattfindet, wenn die Augen in der Primärstellung sind — andernfalls bildet das Nachbild einen Winkel mit der Richtung, in welcher sich der Blick bewegt.

Helmholtz giebt zur Auffindung der Primärstellung folgende Anleitung: Beobachtet man, einer verticalen, mit horizontalen und verticalen Linien versehenen Wand gegenüber stehend, einen lebhaft gefärbten verticalen und desgleichen horizontalen Streifen an derselben, die sich in der Höhe der Augen kreuzen, und fixirt bei gegebener Stellung das Visirzeichen den Kreuzungspunkt der beiden Streifen einige Zeit und lässt nun den Blick von der fixirten Stelle aus gerade nach oben und gerade nach unten, dann horizontal nach rechts und nach links wandern, so muss das Nachbild horizontal bezw. vertical bleiben; bleibt es nicht horizontal, so muss man dem Visirzeichen (§ 70) eine andere Lage geben, bis man die richtige Lage desselben gefunden hat. Und zwar muss man das Stäbchen des Visirzeichens weiter nach links rücken, wenn man, nach oben blickend, das linke Ende des Nachbildes höher, nach unten blickend dasselbe tiefer stehend findet. Findet man, nach obend blickend, das rechte Ende des Nachbildes höher, so verschiebt man das Stäbchen nach rechts. Man verschiebe dagegen das Stäbchen nach oben, wenn man, nach links blickend, das linke, nach rechts blickend das rechte Ende des Nachbildes tiefer stehend findet. Man verschiebe es nach unten, wenn man umgekehrt nach links blickend das rechte Ende des Nachbildes tiefer findet, nach rechts blickend dagegen das linke. Hat man endlich die Primärstellung gefunden, so kann man zur weiteren Prüfung des Listing'schen Gesetzes übergehen.

Helmholtz ermittelte für seine Augen, dass die Primärstellung etwa in der Mitte seines Blickfeldes läge, d. h. in der Mitte des Umkreises, welchen die Gesichtslinie durchlaufen kann, dass sie aber nicht constant sei, sondern an dem

einen Tage ein wenig höher, an dem anderen ein wenig tiefer läge und sich sogar während einer Versuchsreihe änderte. Wir verweisen auf die in § 61 gemachten Angaben von Donders, welche den Helmholtz'schen Erfahrungen bestätigend secundiren. Hering (Binoc. Sehen p. 44) hat eine viel höhere Lage der Blickebene für seine Primärstellung gefunden, wobei allerdings in Betracht kommt, dass Hering etwas kurzsichtig ist.

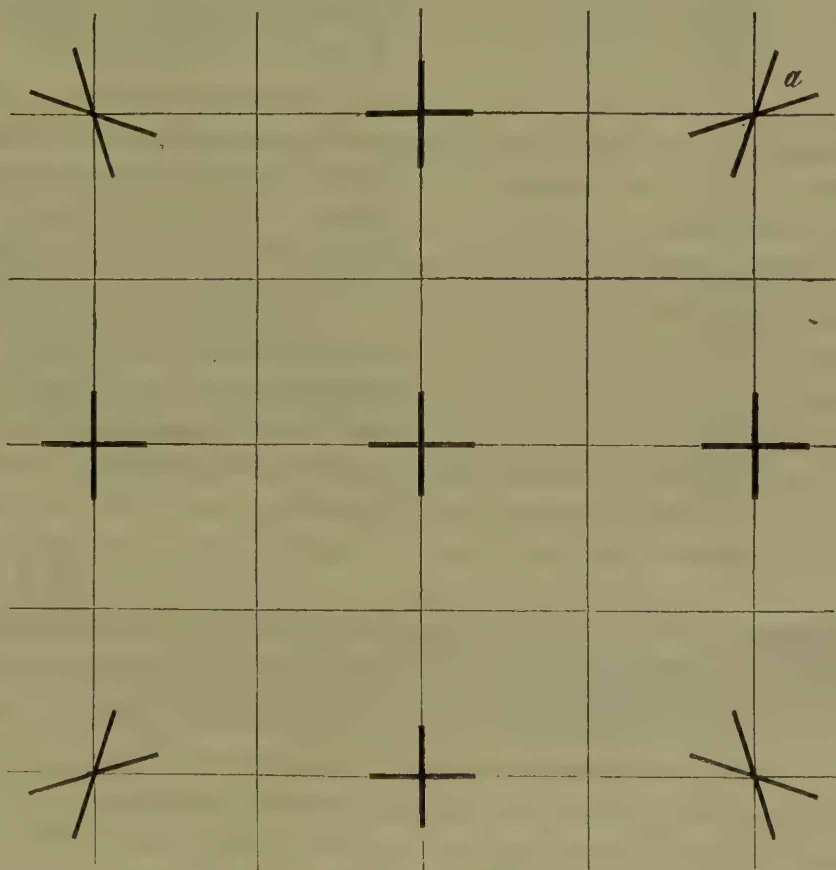
Helmholtz fand also, dass die Nachbilder seiner verticalen und horizontalen Linien keine Abweichung von diesen Richtungen zeigten, wenn der Blick in verticaler und in horizontaler Richtung wanderte. Wurde aber die Blicklinie in der diagonalen Richtung zwischen vertical und horizontal bewegt, so erschienen die Nachbilder geneigt und zwar:

1) bei Richtung des Blicks nach rechts oben oder links unten
das Nachbild der Horizontallinie gegen die Linien der Wand links gedreht — das Nachbild der Verticallinie rechts gedreht,

2) bei Richtung des Blicks nach links oben oder rechts unten
das Nachbild der Horizontallinie nach rechts, das der Verticallinie nach links gedreht.

Die Stellungen des Nachbildes gegen die Linien der Wand sind in Figur 105 (nach Hering) dargestellt. Diese Verschiebung der Linien des Nachbildes ist die

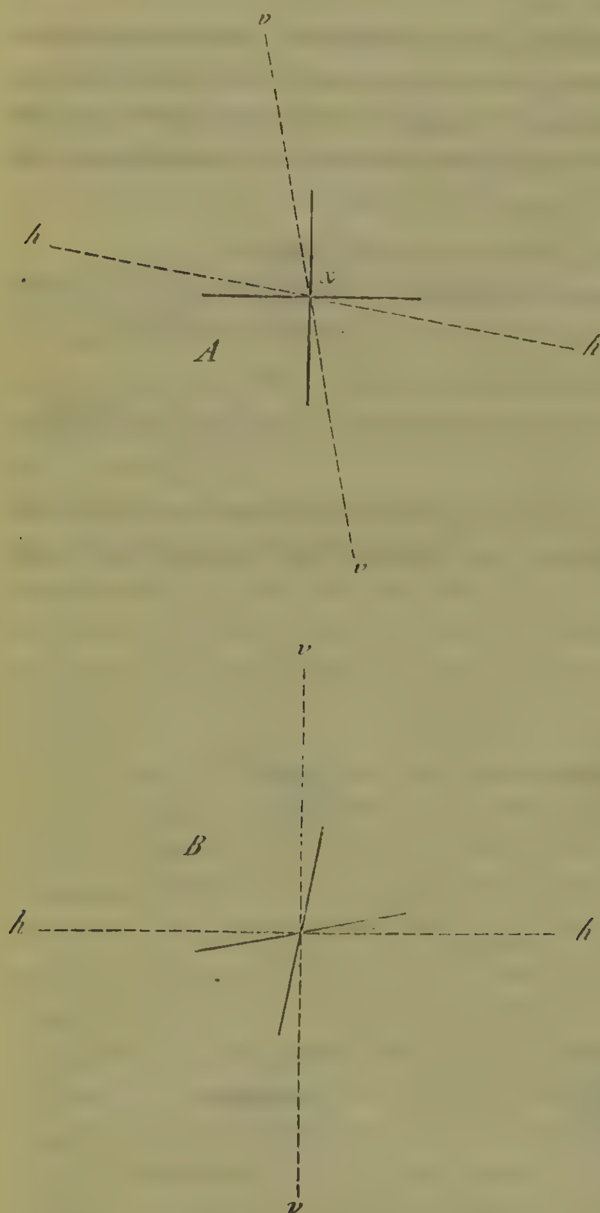
Fig. 105.



Folge einer unrichtigen Projection desselben: die verticalen und horizontalen Linien der Wandebene bilden sich auf der Netzhaut bei dem Blick nach rechts

oben schiefwinklig durchkreuzt ab, sowie das die punktirten Linien *v v*, *h h* in Figur 106 (Hering) zeigen, während das Nachbild rechtwinklig bleibt. Da wir aber die wirklichen Linien auf der Wand doch rechtwinklig sehen, so legen wir, uns nach den wirklichen Linien richtend, das Nachbild so aus, als ob es verdreht wäre, und es muss uns dann so wie in Figur 106 *B* gedreht erscheinen. Die der Drehung der verticalen Linie entgegengesetzte Drehung der horizontalen Linie zeigt schon, dass es sich bei diesen Verschiebungen des Nachbildes nicht um eine Rollung um die Gesichtslinie handeln kann. (Hering, Binocul. Sehen 1868, p. 68. Donders, Archiv für Ophthalm. 1870, XVI. 2, p. 167. Schön, Archiv für Ophthalm. 1874, XX. 2, p. 171 und 1875, XXI. 2, p. 205.) Es ergiebt sich auch, dass, da die Drehung des horizontalen Nachbildes der des verticalen entgegengesetzt ist, bei dieser Blickbewegung ein diagonales Nachbild ungedreht bleiben muss, wie das Listing'sche Gesetz fordert. (Helmholtz, Physiol. Optik p. 518.)

Fig. 106 *A* und *B*.



Helmholtz hat den ganzen Gang der Erscheinung in Figur 154 seiner Physiologischen Optik p. 465 dargestellt und p. 467 die Resultate der dieser Figur zu Grunde gelegten, p. 497 und p. 854 entwickelten Berechnung tabellarisch zusammengestellt.

Helmholtz findet für den Raddrehungswinkel unter Voraussetzung der strengen Gültigkeit des Listing'schen Gesetzes nach der (Arch. f. Ophthalm. 1863, IX. 2, p. 206 und Physiologische Optik p. 496 entwickelten) Formel

$$-\operatorname{tang}\left(\frac{\gamma}{2}\right) = \operatorname{tang}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \operatorname{tang}\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

wo γ den Raddrehungswinkel, α den Erhebungswinkel und β den Seitenwendungswinkel bedeutet. In der beistehenden Tabelle XXVIII. von Helmholtz (Physiologische Optik p. 467) sind die Werthe der Raddrehungswinkel für die beiden anderen Winkel von 5 zu 5 Graden angegeben.

Tabelle XXVIII. (Helmholtz.)

Seitenwendungswinkel.	Erhebungswinkel.							
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
5°	0° 13′	0° 26′	0° 40′	0° 53′	1° 7′	1° 21′	1° 35′	1° 49′
10°	0° 26′	0° 53′	1° 19′	1° 46′	2° 13′	2° 41′	3° 10′	3° 39′
15°	0° 40′	1° 19′	1° 59′	2° 40′	3° 21′	4° 2′	4° 45′	5° 29′
20°	0° 53′	1° 46′	2° 40′	3° 34′	4° 29′	5° 25′	6° 22′	7° 21′
25°	1° 7′	2° 13′	3° 21′	4° 29′	5° 38′	6° 48′	8° 0′	9° 14′
30°	1° 21′	2° 41′	4° 2′	5° 25′	6° 48′	8° 13′	9° 39′	11° 8′
35°	1° 35′	3° 10′	4° 45′	6° 22′	8° 0′	9° 39′	11° 21′	13° 6′
40°	1° 49′	3° 39′	5° 29′	7° 21′	9° 14′	11° 8′	13° 6′	15° 5′

Donders (l. c. p. 165) hat ein Instrument, das Phänophthalmotrop, construirt, um diese Drehungen für jede Augenstellung zu veranschaulichen und nach Graden zu bestimmen. Auch Schön (l. c. p. 174) hat die Ableitung der Nachbilddrehungen gegeben.

Das Donders'sche Phänophthalmotrop besteht im Wesentlichen aus einer um 3 Axen drehbaren Kugel, welche von einem Axenkanal durchbohrt ist und an welcher der verticale und horizontale Meridian durch feste Stäbchen repräsentirt sind; die Drehungswinkel können auf Gradtheilungen abgelesen und durch den Axenkanal kann auf eine mit verticalen und horizontalen Linien versehene Ebene visirt werden, um die Abweichungen des in dem Axenkanal angebrachten Fadenkreuzes von den Linien der Ebene bei der verschiedenen Stellung der Kugel, welche das Auge repräsentirt, zu beobachten. Einen Apparat, welcher denselben Zweck hat, hat Hermann (Pflüger's Archiv 1873, VIII. p. 305) angegeben und Blemmatotrop genannt.

Will man den für diese Verschiebungen des Nachbildes von Helmholtz eingeführten Ausdruck »Raddrehungen« weiterhin gebrauchen, so muss man dabei festhalten, dass es sich dabei nicht um Drehungen des Auges um die Gesichtslinie, sondern nur um Projectionsvorgänge handelt — es würde sich empfehlen, dieselben nach Schön's (Arch f. Ophthalm. 1874, XX. 2, p. 312) und Graefe's (dieses Handb. Bd. VI. p. 8) Vorgang als »Helmholtz'sche Raddrehungen« von den Rollungen, d. h. den Rotationen um die Gesichtslinie zu unterscheiden. — Es mag noch hervorgehoben werden, dass verticale und horizontale Meridiane, wie schon aus dem Obigen hervorgeht, keinerlei Beziehung zu dem Listing'schen Gesetze haben, da dasselbe für alle Meridiane gilt, und dieselben nur die Bedeutung von conventionellen, zur Verständigung dienenden Anfangsmeridianen haben, ähnlich wie der Meridian von Ferro in der Geographie.

Während also bei Bewegungen der Gesichtslinie in einer Ebene, welche durch die Primärstellung gelegt ist, keine Rollung des Auges um die Gesichtslinie eintritt, so tritt eine Rollung des Auges um die Gesichtslinie ein, wenn die Gesichtslinie irgend welche andere ebene Bahnen beschreibt. Lassen wir also den Blick eine Linie beschreiben, welche parallel mit einer primären Bahn, aber um eine Anzahl Grade von derselben entfernt ist, so treten Rollungen des Auges ein, die im Ganzen aber nur klein sind, wenn die Abweichung von der primären Bahn klein ist und der Blick keine sehr grossen Excursionen macht. Numerische Bestimmungen über die dabei stattfindenden wirklichen Rollungen scheinen nicht publicirt zu sein. Man kann also wohl sagen, dass bei den Bewegungen, welche

wir mit parallel gerichteten Gesichtslinien zu machen pflegen, die Rollungen des Auges so klein sind, dass dadurch unsere Orientirung im Raume nicht beeinträchtigt wird, oder die gesehenen Lineamente im Raume keine merkliche Veränderung in ihrer Richtung erleiden.

Bevor Listing sein Gesetz ausgesprochen hatte, hatte schon Donders (Holländische Beiträge 1848, I. p. 129) mittelst der Nachbildermethode gefunden, dass bei Seitenwendungen der Augen die verticalen Meridiane eine der Angesichtsfläche parallele Ebene überall in parallelen Ebenen schneiden, und dass für jede bestimmte Richtung der Fixationslinie relativ zur verticalen Kopfstellung, und wie auch immer diese Richtung zu Stande gekommen sein mag, die Stellung des verticalen Meridians unveränderlich dieselbe ist. Dieses Gesetz ist von Helmholtz das Donders'sche Gesetz genannt worden: es ist in Uebereinstimmung mit dem Listing'schen Gesetze, enthält aber noch die weitere, für die Orientirung höchst wichtige Bestimmung, dass, wie Hering (Binoc. Sehen p. 56) es ausdrückt: bei gleicher Blicklage auch die Netzhautlage die gleiche ist. Es ist also die Lage der Netzhaut ganz dieselbe, wenn z. B. der Blick aus der Primärstellung diagonal nach rechts und oben gerichtet worden ist, als wenn er erst nach rechts (durch reine Seitenwendung) und dann nach oben (durch reine Erhebung) geführt worden ist: ein Nachbild hat unter beiden Bedingungen immer dieselbe Lage. Das Donders'sche Gesetz gilt aber ebenso wie das Listing'sche Gesetz zunächst nur für Parallelstellungen der Gesichtslinien und für Augenbewegungen, welche ohne besondere Anstrengung der Muskeln ausgeführt werden. (Hering, Binoc. Sehen p. 58.)

Es hat sich nun allerdings aus den Versuchen mit binocularen Bildern ergeben, dass das Listing'sche Gesetz mit absoluter Schärfe nicht gilt, sondern dass bei den meisten Beobachtern kleine Abweichungen von etwa $1/2^{0}$ vorkommen. Wir haben schon in § 61 angegeben, dass bei Vereinigung verticaler Linien durch Parallelstellung der Gesichtslinien die verticalen Trennungslinien der Netzhäute unter einem Winkel von etwa 2^{0} nach oben divergiren. Die Versuche von Volkmann (Helmholtz, Physiol. Optik p. 523) haben nun ergeben, dass sich dieser Divergenzwinkel ein wenig vergrössert bei Richtung des Blickes nach oben, vermindert bei Richtung des Blickes nach unten, und dasselbe hat Hering (Binoc. Sehen p. 88) für seine Augen gefunden; bei Volkmann beträgt die Differenz für beide Augen im Ganzen $0{,}9^{0}$, für Hering etwa $1\,1/2^{0}$ bei Uebergang von der tiefstmöglichen zur höchstmöglichen Erhebung, für Helmholtz (Physiol. Optik p. 523) nur $0{,}3^{0}$. Alle diese Beobachter sind aber ein wenig kurzsichtig, und Berthold (Arch. f. Ophthalm. 1865, XI. 3, p. 107), welcher stärkere Myopie ($1/10$) hat, fand für seine Augen von der stärksten Erhebung des Blickes bis zur tiefsten Senkung eine Veränderung des Winkels für die horizontalen Trennungslinien von etwa 6^{0}.

§ 73. Bewegungen mit Convergenz der Gesichtslinien. — Wenn bei Erhebungen und Seitenwendungen des Blickes aus der Primärstellung keine Rollungen der Augen um die parallelen Gesichtslinien stattfinden, so wird die nächste Frage sein, ob bei Uebergang aus der Primärstellung zu den Secundärstellungen, welche durch Convergenz der Blicklinien hervorgebracht werden,

Rollungen der Augen um die Gesichtslinien eintreten oder nicht? ob also das Listing'sche Gesetz auch für die Convergenzbewegungen Geltung hat? Schon VOLKMANN (HELMHOLTZ, Physiol. Optik p. 523) hat gefunden, dass bei Convergenz der Gesichtslinien auf einen 300 Mm. entfernten, in der Horizontalebene gelegenen Punkt eine grössere Divergenz der Trennungslinien (scheinbar verticalen Meridiane) eintrat und zwar von 2,15° auf 4,16°; HELMHOLTZ fand eine kleinere Divergenz (0,56°), DASTICH (HELMHOLTZ, l. c. p. 469) dagegen gar keinen Einfluss der Convergenz. HERING (Binoc. Sehen p. 96) aber fand bei Convergenz seiner Augen aus der Primärstellung um je 10°, also für einen Convergenzwinkel von 20° eine Divergenzzunahme beider Trennungslinien von 2° auf 2° 42′, bei Convergenzwinkel von 40° auf 6° 50′, bei Convergenzwinkel von 60° auf 9° 34′, und ähnliche Werthe hat LANDOLT (Tabelle XXX.) für seine Augen ermittelt. Auch die Bestimmungen von DONDERS (Onderzoekingen in het Utrecht. Physiol. Laborat. 1875, Derde Reeks III. 2, p. 66) bestätigen dies. Es geht daraus hervor, dass bei reinen Convergenzbewegungen das Listing'sche Gesetz seine Gültigkeit verliert und Rollungen des Auges bei Convergenzbewegungen stattfinden. Wir haben ferner schon in § 71 (Figur 102) auf den Versuch von HERING hingewiesen, nach welchem bei Convergenz nur des einen Auges, während die Gesichtslinie des andern Auges ein und dieselbe Lage innehält, gleichfalls eine Rollung des unbewegten Auges eintritt, woraus HERING weiter schliesst, dass die Netzhautlage bei Convergenz der Gesichtslinien nicht von der Stellung der Gesichtslinie des Auges, sondern von der Lage des Blickpunktes abhängig ist. (cf. HERING, Binoc. Sehen p. 57 und p. 97.)

Es ist von vornherein zu erwarten, dass wenn bei einfachen Convergenzbewegungen aus der Primärstellung Rollungen eintreten, dieselben auch auftreten werden, wenn aus den Convergenzstellungen der Augen Erhebungen oder Senkungen des Blickes gemacht werden. Dies ist durch Versuche erwiesen, welche MEISSNER (Beiträge zur Physiologie des Sehorgans 1854, p. 42), v. RECKLINGHAUSEN (Archiv für Ophthalm. 1859, V. 2, p. 174) und HERING (Binoc. Sehen 1868, p. 96) angestellt haben. Da bei MEISSNER und v. RECKLINGHAUSEN weder die Primärstellung ermittelt wurde, noch auf die veränderte Flächenprojection oder Helmholtz'sche Raddrehung Rücksicht genommen ist, so führe ich nur die Resultate, welche HERING erhalten hat, an, bei welchen Primärstellung und Raddrehungswinkel bestimmt worden sind, und zwar, da es hier nur auf eine Uebersicht ankommt, nur die Resultate, welche HERING bei einem Convergenzwinkel von 20°, also einer Innenwendung jeder Gesichtslinie um 10° erhalten hat. Neben den Erhebungen und Senkungen der Blickebene sind im ersten Stabe die auf Grund des Listing'schen Gesetzes nach der Helmholtz'schen Formel berechneten Raddrehungen (cf. § 72 Tabelle XXIX.), in dem zweiten Stabe die durch die Beobachtung gefundenen und auf eine zur Gesichtslinie senkrechte Ebene reducirten Divergenzen der verticalen Trennungslinie von der verticalen Lage, in dem dritten Stabe die Differenzen der gefundenen von der berechneten Drehung angegeben; der dritte Stab enthält also die Werthe der Rollung oder der Abweichung von dem Listing'schen Gesetze. Die Erhebungswinkel sind mit +, die Senkungswinkel mit —, die Divergenzwinkel mit + bei Divergenz der verticalen Trennungslinie mit dem oberen Ende nach aussen, ebenso die Differenzen bei

gleichsinniger Abweichung der verticalen Trennungslinien von der berechneten Divergenz mit + bezeichnet.

Die im dritten Stabe verzeichneten Werthe sind nicht direct gefunden, sondern umgerechnet auf eine zur Gesichtslinie senkrechte Ebene, nach der Formel $\tan x = \tan \alpha \cos \varphi$, wo α den direct abgelesenen, φ den Ablenkungswinkel der Gesichtslinien, x den reducirten Winkel bedeutet. (cf. Berthold, Arch. f. Ophthalm. 1865, XI. 3, p. 129.)

Tabelle XXIX. (Hering.)

Neigung der Blickebene.	Convergenzwinkel 20°.		
	Berechnete Divergenz.	Gefundene Divergenz.	Differenz = Rollung.
+ 15°	+ 2° 19′	+ 2° 1′	— 0° 18′
+ 10°	+ 1° 53′	+ 1° 46′	— 7′
+ 5°	+ 1° 26′	+ 1° 30′	+ 4′
0°	+ 1°	+ 1° 21′	+ 21′
— 5°	+ 0° 34′	+ 1° 14′	+ 40′
— 10°	+ 7′	+ 1° 7′	+ 1° —
— 15°	— 19′	+ 0° 59′	+ 1° 18′
— 20°	— 46′	+ 52′	+ 1° 38′
— 25°	— 1° 13′	+ 42′	+ 1° 55′
— 30°	— 1° 41′	+ 28′	+ 2° 9′
— 35°	— 2° 10′	+ 10′	+ 2° 20′
— 40°	— 2° 39′	0°	+ 2° 39′
— 45°	— 3° 8′	— 23′	+ 2° 45′
— 50°	— 3° 40′	— 43′	+ 2° 57′

Die bedeutenden Differenzen im letzten Stabe zwischen den berechneten und den gefundenen Divergenzen zeigen also, dass in der Convergenzstellung der Augen bei Erhebung und Senkung der Blickebene Rollungen der Augen um die Gesichtslinien eintreten, das Listing'sche Gesetz also nicht mehr gilt.

Es wird aus den Hering'schen Zahlen ausserdem ersichtlich, wodurch Meissner bei seinen Untersuchungen zu der Annahme gelangte, dass die Primärstellung bei Neigung der Blickebene um 45° in Convergenzstellung der Augen gegeben sei, indem er bei dieser Blicklage ebenso wie Hering bei 40° Senkung der Blickebene Parallelismus der Trennungslinien beobachtete. (cf. Donders, Onderzoekingen etc. Derde Reeks II. 1873, p. 381.)

Hering hat nun weiter bei Convergenzwinkeln von 40° und 60° noch viel grössere Abweichungen gefunden, indess sind Convergenzen von 60° schon so gewaltsam, dass sie bei emmetropischen Augen kaum ausgeführt werden. Ich hoffe, dem Wunsche Hering's, dass Jemand, dessen Augen sich in motorischer Beziehung ganz symmetrisch verhalten, diese Versuche ausführen möge, mit meinen nur wenig presbyopischen Augen baldigst nachkommen zu können.

Herr Dr. Landolt hat mir folgende Versuche über die Richtung der scheinbar verticalen Meridiane (Trennungslinien) bei verschiedenen Graden von Convergenz, bei Hebung und bei Senkung der Blickebene zur Mittheilung übergeben.

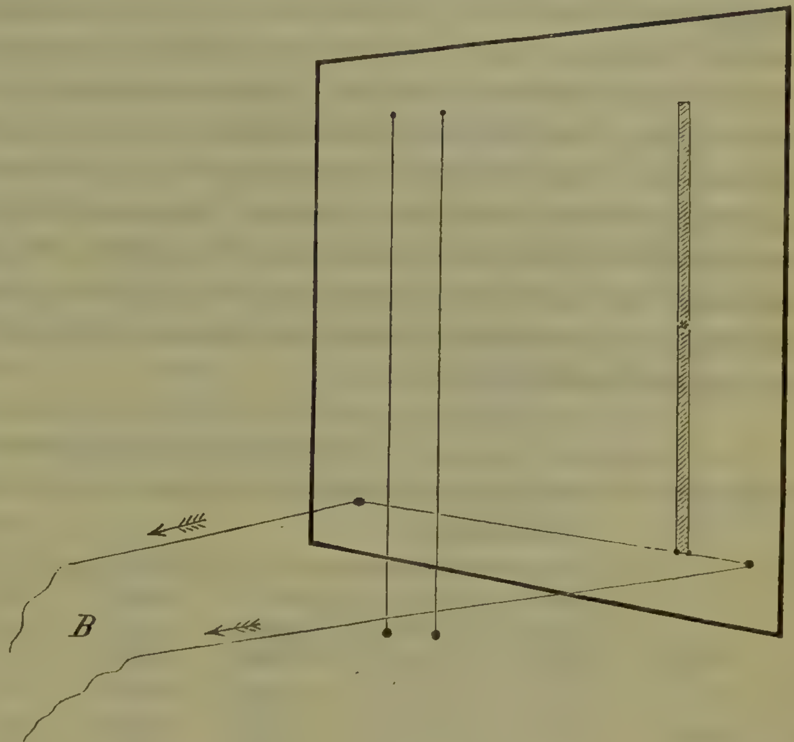
»Die Versuche wurden mit Hilfe des von Hering (Binoc. Sehen p. 78) angegebenen Apparates vorgenommen. Dieser Apparat ermöglicht, dass die durch

beide Gesichtslinien gelegte Ebene immer senkrecht steht zu der Ebene, auf welche dieselben gerichtet sind. Dies wird dadurch erreicht, dass Hebung und Senkung der Blicklinien durch Drehung des Kopfes um die durch beide Drehpunkte der Augen gelegte Axe vollzogen wird, während der Blick seine Richtung beibehält.

Die Einstellung der Drehpunkte in die Drehungsaxe des Apparates wurde in der Weise vorgenommen, wie Hering angiebt.

Auf einer 1 Meter von der Verbindungslinie der Drehpunkte entfernten verticalen grauen Tafel (Figur 107) ist in gleicher Höhe mit der Drehungsaxe eine Horizontale gezogen, und darauf sind die Punkte bemerkt, welche jedes Auge fixiren muss, wenn die Augen parallel stehen, oder wenn sie um bestimmte Grade convergiren sollen. Die Convergenz über 8° wurde dabei natürlich durch Kreuzung der Sehlinien erreicht.

Fig. 107.



Dem linken Auge entsprechend werden zwei schwarze Fäden an der Wand aufgehängt, dem rechten Auge entsprechend ein schmaler rother Blechstreif. Letzterer, in der Mitte durchbohrt, wurde mit einer Nadel an die Wand geheftet und konnte um diesen Punkt mit Hilfe der Fäden gedreht werden, welche, von seinem unteren Ende aus, in beiden Richtungen erst um ein Hypomochlion der Tafel, dann in die Hände des Beobachters *B* liefen.

Fixirt das linke Auge die Mitte zwischen beiden Fäden, das rechte gleichzeitig den rothen Streifen, dann scheint dieser zwischen den beiden Fäden zu liegen, und zwar ist er ihnen parallel, wenn die verticalen Meridiane parallel stehen, oder aber es scheinen die Fäden gegen den Streif um so viele Grade geneigt, wie die Meridiane gegen einander geneigt sind, aber in umgekehrtem Sinne. Die Grade, um welche der Streifen gedreht werden muss, bis er den schwarzen Linien parallel scheint, geben dann also die Neigung der Meridiane gegen einander an.

Die Versuche — vielfach wiederholt — ergaben, dass bei mir in der Primärstellung schon eine geringe Neigung der Meridiane von circa $1/2$° stattfindet und zwar in der Art, dass ihre oberen Enden nach aussen, ihre unteren nach innen geneigt sind. Diese Neigung soll mit + bezeichnet werden.

Diese Neigung nimmt zu bei Convergenz in der Horizontalen sowohl als beim

Blick nach oben und parallelen Gesichtslinien, besonders aber bei Combination von Hebung und Convergenz der Blicklinien. Bei Hebung des Blickes um 25° und Convergenz von 30° ist die Neigung der verticalen Meridiane bei mir + 16° 30′. Jedes einzelne Auge wird sich also wahrscheinlich um 8° 15′ drehen.

Beim Blick nach unten und Parallelstellung der Gesichtslinien nimmt die Neigung der verticalen Meridiane ab, wird bei 25° Senkung = 0 und geht bei 40° in die entgegengesetzte Richtung über, so dass die oberen Enden sich der Medianebene nähern, die unteren davon entfernen.

Bei geringer Senkung und Convergenz der Blicklinien tritt bei mir allerdings die positive Neigung wieder auf, ist aber gering: bei 10° Convergenz und 40° Senkung erreicht sie nicht einmal 2° (s. Tabelle XXX.). Senke ich den Blick noch mehr, als um 40°, dann tritt ganz entschieden negative Neigung der verticalen Meridiane auf. Die Tabelle enthält allerdings nur Versuche mit Hebung um 25° und Senkung um 40°. Stärkere Hebungen und Senkungen wiederholt auszuführen und längere Zeit auszuhalten, war mir mit dem Apparate sehr beschwerlich, und habe ich darum die wenigen derartigen Versuche nicht aufgezeichnet, weil sie nicht genau waren. Das aber liess sich sicher constatiren, dass mit der Hebung und der Congruenz die positive Neigung der Meridiane zunahm, während sie beim Blick nach unten abnahm und schliesslich negativ wurde. Die Neigung der Meridiane liess sich bei den höheren Graden sicherer bestimmen, als bei den niedrigen.

Tabelle XXX. (Landolt.)

Convergenz.	Erhebung.					Senkung.			
	25°	20°	10°	0°	10°	20°	25°	30°	40°
0°	1° 30′	0° 50′	0° 40′	0° 30′	0° 10′	0° 5′	0°	— 0° 10′	— 1° 5′
5°	2°	1° 5′	1°	1° 30′	1°	weniger als		1°	1°
6°	2° 30′	2°	1° 5′	1° 45′	1° 20′	1°	—	1° 10′	1° 30′
7°	3°	2° 30′	2° 30′	2° 5′	1° 30′	1° 30′	1°	1° 30′	1° 30′
8°	3°	2° 20′	2° 20′	2° 5′	1° 30′	1° 30′	1°	1° 30′	1° 35′
9°	3° 10′	2° 20′	2° 30′	2° 10′	1° 40′	1° 30′	1° 15′	1° 20′	1° 35′
10°	4° 20′	3° 30′	3°	2° 30′	2°	1° 40′	1° 30′	1° 50′	1° 40′
11°	5°	3° 30′	3°	2° 40′	2°	1° 50′	—	2°	1° 50′
12°	5°	3° 40′	3° 10′	2° 55′	2° 10′	2°		2°	1° 30′
13°	7°	3° 40′	3° 40′	3° 20′	2° 30′	2°		2° 10′	1° 30
14°	7° 30′	4°	3° 40′	3° 30′	2° 40′	2° 5′		2° 20′	1° 30
16°	8°	5° 30′	4° 5′	3° 55′	3°	2° 10′		2° 30′	2°
18°	9°	5° 30′	5°	4° 50′	4°	3°		2° 50′	2° 30′
20°	11°	7° 30′	6°	5° 40′	4° 30′	3° 30′		3° 10′	2° 45′
25°	15°	8°	7°	5° 52′	4° 50′	4°		3° 30′	2°
30°	16° 30′	10°	8°	6° 50′	5° 50′	4°		4°	1°

Die Werthe sind die direct abgelesenen Zahlen, also nicht ohne weiteres mit Hering's obigen Werthen vergleichbar.

In der That bleiben die Augen in allen Stellungen nie absolut ruhig stehen. Es kommen Schwankungen von 30′ leicht vor und die niedrigen Zahlen bei geringer Convergenz und geringer Erhebung oder Senkung der Blicklinien sind

wirklich nur die Mittelzahlen aus sehr vielen Versuchen. Bei den höheren Graden sind die Befunde genauer.«

§ 74. Umfang und Form des Blickfeldes. — Wir haben schon bei anderen Gelegenheiten (§ 56 und § 69) Bestimmungen über den Umfang der Augenbewegungen angeführt und damit die Grösse des möglichen monocularen Blickfeldes bestimmt. Es ist ausserdem zu ermitteln die Grösse des binocularen Blickfeldes bei Parallelstellung der Gesichtslinien und bei Convergenzstellungen derselben, ferner die Grösse des Blickfeldes bei unbewegtem Kopfe und die Grösse der Zunahme des Blickfeldes durch Kopfbewegungen. Von weiterem Interesse ist dann die Frage, welche Bewegungsgrenzen beim gewöhnlichen, ungezwungenen Sehen für Augen und Kopf innegehalten zu werden pflegen, oder wie gross nach Hering's Bezeichnung das »engere Blickfeld« ist.

Diese Bestimmungen sind bis jetzt nur zum Theil ausgeführt: die Grösse der monocularen möglichen Augenbewegungen ist von Volkmann (cf. § 69), von Helmholtz und mir (§ 66), ferner von Donders und Schuurmann (cf. III. 1 dieses Handbuchs p. 233), von Hering (Binoc. Sehen p. 44) bestimmt worden, und beträgt für Seitenwendungen im Ganzen etwa 80° bis 90°, für Erhebungen und Senkungen ungefähr eben so viel. Die Bestimmungen sind theils mit dem Perimeter, oder perimeterartigen Vorrichtungen, theils mit besonderen Vorrichtungen angestellt worden, von denen die Donders-Schuurmann'sche Bd. III. 1, p. 233 beschrieben ist, die Hering'sche aber sogleich beschrieben werden soll.

Wir stellen die bisherigen Bestimmungen, welche aber nicht immer von der Primärstellung aus gemacht worden sind, hier zusammen:

Tabelle XXXI.

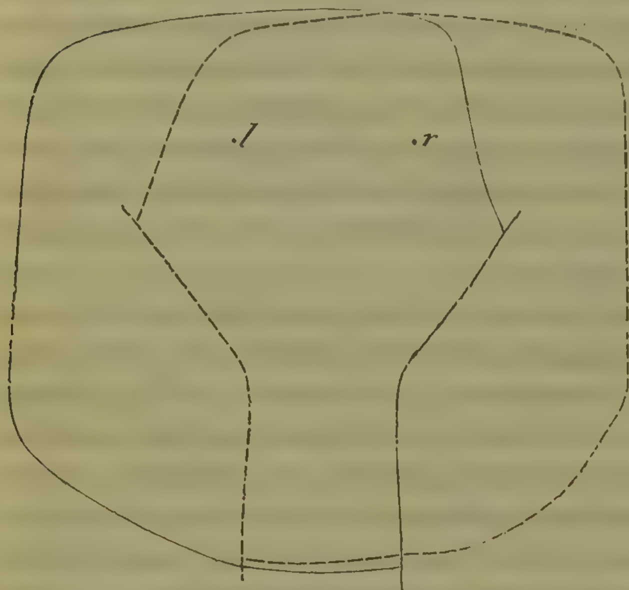
	Nach oben.	Nach unten.	Nach innen.	Nach aussen.
Volkmann	35°	50°	42°	38°
Aubert (rechtes Auge)	30°	57°	44°	38°
Helmholtz	(45)	(45)	(50)	(50)
Schuurmann	34°	57°	45°	42°
Graefe	—	—	44°	38°
Hering, linkes Auge	20°	62°	44°	43°
Hering, rechtes Auge	20°	59°	46°	43°

Durchgehends ist die Excursion nach oben geringer als die nach unten und die Excursionsweite nach aussen geringer als die nach innen.

Die von Hering (Binoc. Sehen p. 43) angewendete Methode zur Bestimmung der Blickfeldgrenzen hat den Vorzug, dass man der Täuschung nicht ausgesetzt ist, einen Punkt, auf welchen man die Gesichtslinien nicht eingestellt hat, doch für den fixirten Punkt zu halten, eine Täuschung, welche bei angestrengten Wendungen sehr leicht eintritt. Hering benutzt ein in der Primärstellung erzeugtes Nachbild, welches er auf einer entfernten grauen Wand wandern lässt bis an die äusserste Blickgrenze. Parallel zu den Verbindungslinien der Knotenpunkte wird eine verticale Glastafel aufgestellt und auf dieser zuerst die beiden Punkte, in welchen die Glastafel von den Gesichtslinien in der Primärstellung geschnitten

wird, markirt, dann lässt man das von einer kleinen Scheibe gewonnene Nachbild auf der Wand wandern so weit wie möglich und markirt den von der Gesichtslinie auf der Glastafel durchschnittenen Punkt; indem man dieses Verfahren für verschiedene Richtungen des Blickes wiederholt, bekommt man auf der Glastafel eine Reihe von Punkten verzeichnet, welche die Grenzpunkte oder in ihrer Verbindung die Grenzcurve des Blickfeldes darstellen.

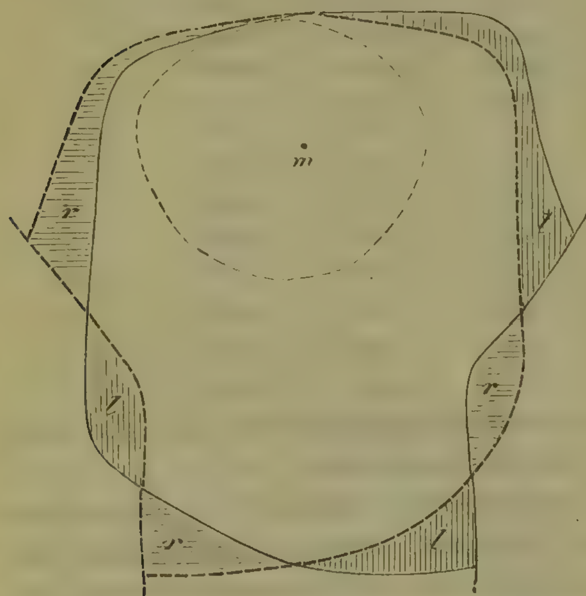
Fig. 108.



Nach dieser Methode hat Hering für seine Augen die in Figur 108 dargestellten Grenzen für das Blickfeld seines rechten (die punktirte Linie) und linken (die ausgezogene Linie) Auges bestimmt; die Linie ab giebt das Maass für den Abstand der Glastafel von den Knotenpunkten der Augen für die gezeichnete Grösse des Blickfeldes an.

Denkt man sich für eine sehr entfernte Ebene die Punkte l und r in einen Punkt, in Figur 109 den Punkt m, vereinigt, so erhält man eine ähnliche Form des binocularen Blickfeldes, wie sie Helmholtz (Physiol. Optik p. 484 Figur 161) gegeben hat. Diejenigen Theile der Figur, auf welche sich nur das linke Auge einstellen kann, sind in der Figur vertical schraffirt und mit l bezeichnet, die nur dem rechten Auge zugänglichen horizontal schraffirt und mit r bezeichnet.

Fig. 109.



Wie Hering weiter ermittelt hat, ist nun aber der Theil des Blickfeldes, mit welchem sich in Figur 109 die beiden monocularen Blickfelder decken, nicht zugleich wirklich das binoculare Blickfeld, vielmehr ist das wirklich binoculare Blickfeld viel beschränkter: es ist durch die punktirte Linie in Fig. 109 bestimmt. Hering erklärt diese bedeutende Einschränkung des binocularen Blickfeldes im Vergleich zu dem Gebiete der beiden monocularen Blickfelder für das fernsehende Doppelauge aus einer geringeren Wirkungsfähigkeit der Abductorengruppe (Lateralwärtsdreher), welche auch bei der Senkung des Blickes nicht mehr zur Geltung komme, so dass bei Senkung der Blickebene in stärkerem Grade immer zugleich Convergenz ein-

träte. — Auch beim Nahesehen hat nach HERING der binoculare Blickraum viel engere Grenzen, als sie sich nach der Excursionsfähigkeit des einzelnen Auges erwarten lassen.

Eine Bestimmung des Blickraumes, d. h. des Inbegriffs der sämmtlichen binocularen Blickfelder von der Parallelstellung bis zur stärksten Convergenzstellung ist bisher nicht gemacht worden. Vermuthlich ist der binoculare Blickraum ein Kegel, dessen Spitze bei vollständiger Symmetrie der Augenmuskeln in der Medianebene und in der Gegend der Nasenspitze gelegen ist, dessen Basis die durch die punktirte Linie in Figur 109 begrenzte Ebene, in sehr grosse Entfernung projicirt und entsprechend vergrössert, bilden würde.

Von den im Anfange dieses Paragraphen gestellten Postulaten ist nur noch ermittelt worden die stärkste Convergenzstellung, welche wir den Augen zu geben im Stande sind. DONDERS (Arch. f. Ophthalm. 1860, VI. 1, 85 und Anomalien der Refraction etc. 1866, p. 94) nimmt den stärksten Convergenzwinkel zu 70° an, entsprechend bei einer Distanz der Drehpunkte von 64 Mm. einer Entfernung des binoculär fixirten Punktes von dem Mittelpunkte der Grundlinie = 46 Mm., SCHUURMANN (III. 1 dieses Handbuches p. 235) nimmt diese Entfernung = 81,2 Mm. an, was einem Convergenzwinkel von nur 43° entsprechen würde, also für die Innenwendung jedes Auges der Hälfte dieser Winkel.

§ 75. Ungewöhnliche Augenbewegungen. — Wir haben noch verschiedene Arten von Augenbewegungen zu erwähnen, welche wir nicht zu den Zwecken des Sehens anwenden, welche wir nicht zur Orientirung im Raume benutzen. Es würden dahin eigentlich auch die sehr starken Convergenzbewegungen, denen die Accommodation nicht mehr zu folgen im Stande ist, die angestrengten Erhebungen, Senkungen und Seitenwendungen der Augen gehören, da wir diese durch Bewegungen des Kopfes und Körpers unnöthig zu machen pflegen. Wir können aber durch besondere Veranstaltung unsere Augen auch bewegen ohne Rücksicht auf die Zwecke des Sehens: dahin gehören

1) Divergenzstellungen der Gesichtslinien und Erhebung nur des einen Auges.
2) Rollungen um die Gesichtslinien bei aufrechter Kopfhaltung.
3) Rollungen bei Neigung des Kopfes (schulterwärts).

1) Divergenz der Gesichtslinien kann eingeübt werden durch Betrachtung stereoscopischer Bilder, wenn man sie immer weiter von einander entfernt und dabei ihre Vereinigung zu einem Bilde zu erhalten sucht. HELMHOLTZ (Physiol. Optik p. 475) hat eine Divergenz der Blicklinien bis zu 8° hervorbringen gelernt. Dasselbe lässt sich, wie HELMHOLTZ angiebt, erreichen, wenn man zwei gleiche, schwach brechende Prismen von 6° bis 8° brechendem Winkel so vor beide Augen nimmt, dass die brechenden Winkel nach unten gerichtet sind, nach entfernten Objecten blickt, und diese fortfährt zu fixiren, während man die Prismen allmälig so dreht, dass ihre brechenden Winkel nach aussen gerichtet sind: erscheint das Object dann noch einfach, so müssen die Gesichtslinien divergiren. HERING (Binoc. Sehen p. 46) hat es nach jahrelanger Uebung dahin gebracht, bei stark gehobener Blickebene die Gesichtslinie nahezu um 5° divergiren zu lassen, also eine Divergenz von 10° im Ganzen zu erzeugen.

In analoger Weise haben DONDERS, HELMHOLTZ und HERING sich geübt, eine

Vereinigung der Bilder festzuhalten, wenn mittelst eines schwachen Prismas die Blicklinie des einen Auges nach oben oder unten abgelenkt wird, während die des andern Auges unverändert bleibt. Dasselbe lässt sich, wie Hering fand (l. c. p. 15), auch erreichen, wenn man von zwei zusammengehörigen Stereoscopbildern das eine etwas höher hält, als das andere. Dass unter diesen Umständen die beiden Blicklinien nicht gleich hoch gerichtet sind, ergiebt sich daraus, dass nach Wegnahme des Prismas die betreffenden Doppelbilder über einander stehend wahrgenommen werden und dieselben erst allmälig wieder verschmelzen.

2) Auf ähnliche Weise glaubte Helmholtz (Physiologische Optik p. 476) auch Rollungen des einen Auges um die Gesichtslinie mit Hilfe rechtwinkliger Prismen hervorbringen zu können: legt man zwei rechtwinklige Prismen mit ihren Kathetenflächen so aneinander, dass die Hypotenusenfläche des einen nach unten, die des andern nach oben gerichtet ist, so wird die Umkehrung der Bilder von Objecten, welche das eine Prisma durch totale Reflexion hervorbringt, durch das andere Prisma wieder vollständig aufgehoben und die Gegenstände erscheinen in ganz unveränderter Lage. Macht man aber die Hypotenusenflächen der beiden Prismen nicht ganz parallel, sondern dreht das eine Prisma ein wenig um eine dem durchgehenden Strahle parallele Axe, so werden die gesehenen Gegenstände um den ungebrochenen Strahl ein wenig gedreht und es erscheinen gekreuzte Doppelbilder. Diese können nach Helmholtz zur Verschmelzung gebracht werden: nach Wegnahme der Prismen erscheinen im ersten Moment gekreuzte Doppelbilder. Hering (Binoc. Sehen p. 62) hat die Richtigkeit dieser Beobachtung in Zweifel gezogen, weil Helmholtz die Kathetenflächen aneinander um eine zu ihnen Normale gedreht und dadurch ein Auseinandertreten der Bilder, nicht eine einfache Kreuzung bewirkt habe. — Ich muss mich Hering's Zweifeln, dass man nach Helmholtz' Methode eine Rollung bewirken könne, anschliessen und finde auch für meine Augen eine Rollung nicht erreichbar, wenn ich statt der Prismendrehung eine Drehung eines Stereoscopbildes anwende.

3) Ueber die Rollung der Augen bei Neigung des Kopfes sind schon von Hueck (Die Achsendrehung des Auges. Dorpat 1838) Untersuchungen angestellt worden, aus welchen derselbe schloss, dass bei Neigung des Kopfes nach der einen oder andern Schulter hin eine Drehung des Augapfels in entgegengesetztem Sinne und von einer solchen Grösse stattfände, dass der verticale Meridian der Netzhaut seine verticale Lage im Raume behielte. Dieses Resultat der Hueck'schen Versuche ist von Tourtual (Müller's Archiv 1840, p. LV.) und namentlich von Donders (Holländische Beiträge 1848, p. 118) als unrichtig nachgewiesen. Donders fand sowohl bei der Methode der Beobachtung bestimmter Conjunctiva- und Irisstellen, als bei der Methode mit Nachbildern (§ 70), dass bei derartigen Kopfneigungen gar keine Rollung einträte. Später hat indess Javal (Wecker, Etudes ophthalmologiques T. II. 1866, p. 815) mittelst Bestimmung an astigmatischen Augen nachgewiesen, dass allerdings eine kleine Rollung bei Neigung des Kopfes eintritt, was auch Reuss und Woinow (Ophthalmologische Studien 1869, p. 27) behaupteten. Obgleich Aub (Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde 1870, I. 2, p. 234) nachgewiesen zu haben glaubte, dass das Auge bei Neigungen des Kopfes keine Rollungen ausführt, so haben bald darauf Skrebitzky (Arch. f. Ophthalm. 1871, XVII. 1, p. 112) unter Donders' Leitung und Nagel (Arch. f. Ophthalm. 1871, XVII. 1, p. 243) den Beweis geführt, und zwar mit-

telst der Nachbildermethode, dass bei Neigungen des Kopfes schulterwärts und unverrückter Fixation eines Punktes, der mit dem Kopfe verbunden ist und in der Höhe der Augen liegt, eine Rollung im Sinne HUECK's wirklich statt hat, aber nur in geringem Umfange, nämlich für je 10° Kopfneigung ungefähr eine Rollung von etwas mehr als 1° in entgegengesetztem Sinne — oder nach NAGEL von etwa dem sechsten Theil der Kopfneigung.

SKREBITZKY giebt folgende Mittelzahlen an:

Kopfneigung:	15°	25°	35°	45°	55°	65°	75°
Rollung:	2°	2,64°	4,16°	5,48°	6,76°	7,72°	8,60°.

Etwas andere Zahlen hat MULDER (Onderzoekingen in het Physiologisch Laboratorium te Utrecht 1875, Derde Reeks III. 1, p. 134 und Arch. f. O. 1875, XXI. 1, p. 68) an sich und Dr. KÜSTER erhalten, und namentlich bei sich selbst gefunden, dass bei Neigung des Kopfes über 50° die Rollung nicht weiter zunimmt. Ausserdem fand MULDER Verschiedenheiten in der Rollung bei längerer oder kürzerer Dauer der Kopfneigung, und unterscheidet bleibende und vorübergehende Rollungen. Bezüglich der angewandten Methode und der Erklärung der Rollung verweisen wir auf das Original.

Mit den Neigungen des Kopfes findet nun, wie ich (Archiv für pathologische Anatomie 1860, XX. p. 381 und Physiologie der Netzhaut p. 275) gefunden habe, eine eigenthümlich unrichtige Auslegung des Wahrgenommenen statt, indem, wenn keine bekannten Objecte da sind, nach welchen man sich orientirt, verticale Linien bei Neigung des Kopfes nach der rechten Schulter stark nach links, bei Neigung des Kopfes nach der linken Schulter stark nach rechts geneigt erscheinen. Diese Täuschung tritt z. B. auf, wenn man eine helle verticale Linie im übrigens dunkeln Zimmer mit geneigtem Kopfe mehrere Sekunden lang betrachtet: so wie man aber in das Zimmer Licht einlässt, dreht sich die Linie langsam in die verticale Lage zurück. — Es geht daraus am schlagendsten hervor, dass es sich hier nicht um Rollungen, sondern nur um eine Auslegung oder um eine falsche Orientirung handelt, welche, wie ich wahrscheinlich gemacht habe, darauf beruht, dass wir aufhören, uns der abnormen Stellung unseres Kopfes bewusst zu sein. Ob diese Erklärung stichhaltig ist, wird durch MULDER's Versuche (l. c. p. 169) zweifelhaft — die Erklärung von HELMHOLTZ (Physiol. Optik p. 618), dass man die Neigung des Kopfes für kleiner halte, als sie wirklich ist, kann ich nach meinen Beobachtungen auch nicht als zutreffend ansehen. (cf. BREUER, Ueber die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinthes. Medicinische Jahrbücher, Wien 1874, Heft I. p. 47.) — Die Beobachtung, welche vielfach bestätigt worden ist, ist von Bedeutung für die Abhängigkeit unserer Orientirung von der Lage des Kopfes und des Körpers.

§ 76. **Innervation der Augenmuskeln und Princip der Augenbewegungen.** — Es ist schon in § 71 darauf aufmerksam gemacht worden, dass eine sehr bestimmte Association der Bewegungen beider Augen oder des Doppelauges stattfindet, und wir haben in den folgenden Paragraphen gesehen, dass die Bewegungen der Augen, so weit die Zwecke des Sehens in Betracht kommen, mit einer wunderbaren Regelmässigkeit und Gesetzmässigkeit nach dem Listing'schen und Donders'schen Gesetze erfolgen. Diese Gesetzmässigkeit zwingt zu der Annahme, dass ein bestimmter Rapport zwischen den Eindrücken auf

unsere Doppelnetzhaut und den Bewegungsorganen der Augen vorhanden ist, welcher durch ein nervöses Centralorgan vermittelt werden muss, und welcher einen bestimmten Zweck, ein bestimmtes Princip für die gesammte Innervation unseres Sehorganes zur Voraussetzung hat.

Wenn auf die Erregung eines Punktes unserer Netzhaut eine nach Richtung und Grösse bestimmte Bewegung unseres Doppelauges mit bestimmter Accommodation desselben ohne Weiteres erfolgt, so setzt dies ein Centralorgan voraus, in welchem die Eindrücke auf unsere Netzhaut und unsere Sehnerven übertragen werden auf bestimmte Gruppen nervöser Substanz, welche ihrerseits die Muskelnerven in feststehender Ordnung und Intensität erregen. Es ist aber festgestellt, dass, wie Hering (Binoculares Sehen p. 38) es ausdrückt, »der Ort des indirecten Bildes auf der Netzhaut zugleich das bestimmende Moment für die nothwendige Bewegungsinnervation« ist, und zwar für die Innervation der Augenmuskeln, des Accommodationsmuskels und der den Kopf bewegenden Muskelgruppen.

Eine Kenntniss der hierzu erforderlichen Anordnung der Nervenbahnen fehlt uns bis jetzt allerdings vollständig und es ist überhaupt erst durch Adamük's Versuche (Onderzoekingen in het Physiologisch Laboratorium der Utrecht'sche Hoogeschool, Tweede Reeks III. 1870, p. 140 u. Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften 1870, p. 65) das Organ des Gehirns, zunächst allerdings nur bei Hunden und Katzen, bekannt geworden, welches als das Innervationscentrum anzusehen ist. Dieses Organ sind die vorderen Hügel der *Corpora quadrigemina.*

Adamük's in Donders' Laboratorium angestellte Versuche haben folgende wichtige Resultate geliefert: 1) der rechte vordere Hügel beherrscht die Bewegungen beider Augen nach links, der linke die Bewegungen beider Augen nach rechts. Bei der Reizung verschiedener Punkte bewegen sich immer beide Augen zugleich und in derselben Richtung. Erst nach Trennung der beiden Hügel durch einen tiefen Schnitt beschränkt sich die Bewegung auf die Seite der Reizung. Adamük findet daher, dass Hering's Ausdruck »Doppelauge« den Erscheinungen sehr angemessen ist. 2) Sind die Augen vor der Reizung divergirend ein wenig nach unten gerichtet, so nehmen bei Reizung des mittelsten vorderen Theils der Vorderhügel, d. h. der hinteren Commissur, die Gesichtslinien sogleich Parallelstellung ein — bei Reizung etwas weiter nach hinten erfolgt Bewegung beider Augen nach oben, und zwar um so mehr nach oben, je weiter nach oben und hinten, d. h. nach der Mitte der vorderen Hügel man reizt, und um so mehr nach unten, je mehr nach unten und aussen gereizt wird. Bei diesen Bewegungen bleibt die Pupille unverändert. 3) Reizung der Mitte der vorderen Hügel bringt sogleich Bewegung der Augen nach oben mit gleichzeitiger starker Erweiterung der Pupille hervor. Die Augenstellung geht um so mehr in eine horizontale über, je weiter man mit der Reizung in der Mitte nach vorn geht, und wird um so mehr Convergenzstellung, je weiter die Elektroden nach hinten angesetzt werden — bei Reizung der hintersten Theilungsstelle des einen der beiden Hügel tritt Senkung, starke Convergenz und Verengerung der Pupille ein. — Reizung des Bodens des *Aquaeductus Sylvii* ruft starke Wendung der Augen nach innen (medianwärts) hervor, ebenso wie die Reizung des *N. oculomotorius.* 4) Jede Bewegung nach innen und unten ist mit Verengerung der Pupille verbunden. 5) Die Stelle für die Bewegung nach unten in Parallelstellung hat Adamük nicht auffinden können, vermuthet aber, dass sie am Boden der Hügel gelegen sei. 6) Bei stärkerer Reizung des linken oder rechten Hügels dreht sich auch der Kopf in gleichem Sinne wie die Augen.

Jedenfalls ist durch Adamük's Versuche festgestellt, dass die Association der Bewegungen und die ganze Innervation auf anatomischer Gruppirung der Nerven-

elemente, auf einem anatomisch gegebenen Mechanismns beruht, und dass dieser Mechanismus ein angeborener ist, da Adamük, wie Donders (Onderzoekingen etc. II. R. III. p. 154 und Arch. f. Ophthalm. 1871, XVIII. 2, p. 164) angiebt, an ganz jungen Thieren, deren Augen sich eben erst geöffnet hatten, seine Versuche angestellt hat. Da die Associationen der Augenbewegungen beim erwachsenen Menschen unbewusst in sehr ähnlicher Weise erfolgen, wie bei Adamük's jungen Hunden, und höchstens einmal ein Physiologe diese Associationen zu stören unternimmt und mit geringem Erfolge zu stören fertig bringt (cf. § 75), — wir anderseits bei andern Thieren (am auffallendsten beim Chamaeleon) ganz andere Gruppirungen der Bewegungen, welche eben so angeboren sind, finden, so kann ich auf dem Boden der Erfahrung nur einen auf anatomischen Einrichtungen beruhenden, angeborenen und prästabilirten Zwang, unter welchem wir die Augenbewegungen ausführen, annehmen. Ich schliesse mich also in dieser Frage Hering (Binoc. Sehen p. 18 u. f.) unbedingt an gegen Helmholtz (Physiol. Optik p. 799) und Donders (l. c.).

Adamük hat also gefunden 1) ein Organ für die Seitenwendungen des Doppelauges, 2) ein Organ für die Erhebung, 3) ein Organ für die Senkung mit Convergenzbewegung und Pupillenverengerung, 4) ein Organ für Convergenzbewegung mit Pupillenverengerung — also Organe oder Zellengruppen für die in § 71 unterschiedenen Hauptklassen der Augenbewegungen.

Besonders hervorzuheben ist der in den Versuchen Adamük's hervortretende Zusammenhang von Convergenzbewegung mit Pupillenverengerung, welche, wie gleichfalls Adamük (Centralblatt für die medicin. Wissenschaften 1870, p. 177) nachgewiesen hat, durch Reizung des *N. oculomotorius* hervorgebracht werden können und dann meistens vergesellschaftet sind, obgleich besondere Fasern in diesem Nerven, welche die Verengung der Pupille bewirken und das *Ganglion ciliare* durchsetzen, vorhanden sind, Fasern, welche Adamük in 3 von 42 Fällen im *N. abducens* verlaufend gefunden hat. — Wenn man mit diesen Versuchen Adamük's am Oculomotorius die in § 16 angegebenen Versuche von Hensen und Völckers zusammenhält, so kann man wohl mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter schliessen, dass, wo von Adamük Pupillenveränderung beobachtet wurde, auch Accommodation stattgefunden habe. — Wir müssen dann für die so äusserst gesetzmässige Correlation von Convergenz und Accommodation, welche Donders (Arch. f. Ophthalm. 1860, VI. 1, p. 87 und Anomalien der Refraction etc. 1866, p. 94) nachgewiesen hat, ein gemeinschaftliches anatomisches Organ in der hinteren Mittelfurche zwischen den vorderen Vierhügeln annehmen, welches den convergenzvermittelnden und den pupillenverengenden und accommodationvermittelnden Nervenfasern gemeinsam vorsteht.

Dass dieser Zusammenhang, welcher zwischen Accommodation und Convergenz besteht, künstlich gelöst werden kann (cf. Hering, Binoc. Sehen p. 137), ist auch bei der Annahme eines solchen gemeinsamen Centralorganes sehr begreiflich, da dieses Centralorgan verschiedene Antagonisten hat, nämlich das Centralorgan für die Seitenwendungen und das Organ für die Pupillenerweiterung (Sympathicus). Immerhin wird die Wirkung von Antagonisten mit Erfolg kein Beweis sein für den ursprünglich gegebenen und angeborenen Zusammenhang zweier Functionen.

Die bestehende Gesetzmässigkeit unserer Augenbewegungen und ihre Ver-

kettung mit Eindrücken auf unserer Netzhaut führt uns endlich zu der Frage, ob dieser Verbindung unserer Wahrnehmungen mit den Bewegungen ein gemeinschaftliches Princip zu Grunde liege? oder ob irgend ein gesondertes Princip den Bewegungen und ein anderes den Wahrnehmungen zu Grunde liege. Es ist von Fick (Zeitschrift f. rat. Med. Neue Folge 1854, IV. p. 101) und Wundt (Arch. f. Ophthalmologie 1862, VIII. 2, p. 46) angenommen worden, dass das Princip für die Augenbewegungen auf der Bewegung mit der geringsten Muskelanstrengung beruhe, und sie haben dieses Princip mit Zugrundelegung der anatomischen Verhältnisse der Augenmuskeln durchzuführen versucht. Gegenüber den Interessen des Sehens scheint mir der grössere oder geringere Aufwand von Muskelkraft nicht erheblich, besonders im Hinblick auf die geringen Kräfte, welche zur Bewegung des Augapfels überhaupt erforderlich sind, und auf den geringen Grad von Contraction, welcher gerade bei den Augenmuskeln stattfindet (§ 69). Wenn wir aber den Organismus als im höchsten Grade zweckmässig construirt ansehen, so kann man annehmen, dass auch dieses Princip trotz untergeordneter Bedeutung durchgeführt sei. Wäre dieses Princip sicher festgestellt, so würde damit nicht ausgeschlossen sein ein Princip, welches die Bewegungen des Auges in Beziehung setzt zu den Wahrnehmungen desselben. Ein solches Princip ist zuerst von Meissner (Beiträge zur Physiologie des Sehorgans 1854, p. 93) aufgestellt worden, welcher als das einfachste und natürlichste Princip für die Augenbewegungen ansieht, »dass das ganze Auge bei jeder Stellung ein und dieselbe Orientirung zu seinem Gesichtsfelde behält.« Dieses Meissner'sche Princip ist denn auch später von Helmholtz (Arch. f. Ophthalm. 1863, IX. 2, p. 158) angenommen und in der Form des Princips der leichtesten Orientirung auf Grund des Listing'schen Gesetzes durchgeführt worden, und auch Hering (Binoculares Sehen 1868, p. 106) hat dieses Princip im Wesentlichen in ähnlicher Form wie Meissner hingestellt. — Es wird kaum ein Princip ausgesprochen werden können, welches den Interessen des Sehens mehr Rechnung trüge, und man wird, wenn dieses Princip die Prüfung besteht, das bewegte Auge geradezu als ein ruhendes mit erweitertem Gesichtskreise und erweiterter Wahrnehmungsfähigkeit betrachten können. Wenn wir uns vorstellen, dass unser Auge gleichzeitig die ganze Reihe von Bildern eines Objectes hätte, welche es im Laufe kurzer Zeit durch Bewegung der Blicklinie an dem Objecte hin gewinnt, so würde es im ersteren Falle eine kaum grössere Wahrnehmungsfähigkeit haben: im ersten Falle würde aber die Anordnung der Bilder eine in Bezug auf das Object constante sein, im zweiten Falle nur dann, wenn die Localisirung des Auges dieselbe bliebe. Dies ist aber der Fall in so weit, als das Donders'sche und das Listing'sche Gesetz Geltung haben, und wir haben in § 72 und 73 gesehen, dass die Abweichungen von demselben beim gewöhnlichen Sehen nicht sehr bedeutend sind. Nach diesen Gesetzen ist aber, wie Hering es ausdrückt, die räumliche Wahrnehmung des bewegten Auges in möglichsten Einklang gebracht mit den Wahrnehmungen des unbewegten Auges, indem die Rollungen um die Gesichtslinie möglichst vermieden sind, und wir können nach den bisherigen Untersuchungen sagen, dass die Interessen der einheitlichen Wahrnehmung massgebend für die Bewegungen der Augen zu sein scheinen.

Literatur.

Allgemeine Werke.

§ 1. Kircher, Ars magna lucis et umbrae in X libros digesta. Amstelodami 1761. — Fabricius ab Aquapendente, Opera omnia anatomica et physiologica. Lipsiae 1687. p. 187 bis p. 248. Die ältere Literatur findet sich sehr vollständig in: Haller, Elementa Physiologiae. Lausannae 1763. T. V. p. 306 bis p. 528 und in Priestley, Geschichte der Optik, aus dem Englischen mit Anmerkungen und Zusätzen von Klügel. Leipzig 1776. — Smith, Vollständiger Lehrbegriff der Optik, mit Aenderungen und Zusätzen ausgearbeitet von Kästner. 1755. (Enthält Jurin, Abhandlung vom deutlichen und undeutlichen Sehen p. 483—514). — Porterfield, A treatise on the Eye, the Manner and Phaenomena of Vision. Edinburgh 1759. 2 Bde. — Le Cat, Traité des sens. Amsterdam 1744. — J. Müller, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. Leipzig 1826. —— Handbuch der Physiologie des Menschen. Bd. II. Abth. 2. Coblenz 1838. p. 250—393. — Tourtual, Die Sinne des Menschen. Münster 1827. — Volkmann, Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes. Leipzig 1836. — Burow, Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges. 1842. — Ruete, Lehrbuch der Ophthalmologie. Erste Ausgabe 1854. p. 1—194. Zweite Ausgabe 1854. I. — Volkmann, Sehen. Im Handwörterbuch der Physiologie, herausgegeben von R. Wagner. 1846. Bd. III. 1. p. 265—351. — Cornelius, Die Theorie des Sehens und räumlichen Vorstellens. Halle 1861. — Scheffler, Die physiologische Optik. Braunschweig 1864. (Als Supplement dazu: Die Gesetze des räumlichen Sehens. Braunschweig 1866.) — Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik. Leipzig 1867. (IX. Band der Allgemeinen Encyclopädie der Physik, herausgegeben von G. Karsten.) —— Optique physiologique, traduit par Javal et Klein. Paris 1867. — Kaiser, Compendium der physiologischen Optik. Wiesbaden 1872. — Newton, Opticks, or treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light. 2 Edit. London 1717. — Brewster, Handbuch der Optik. Deutsch von Hartmann. 1835. — Radicke, Handbuch der Optik 1839. Bd. II. — A. Fick, Die Medicinische Physik. Braunschweig 1856. Zweite Auflage von 1866. —— Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane. Lahr 1864. — Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik (I. Band 2. Abtheilung: Optik). Leipzig 1863. — Jahresberichte in Müller's Archiv für 1833 bis 1837 von Joh. Müller, für 1838 bis 1842 von Tourtual. — Jahresbericht über die Fortschritte der gesammten Medicin in allen Ländern von Canstatt und Eisenmann. Physiologie 1844—65 von Valentin. Physiologische Physik seit 1851 von Heidenreich, seit 1856 von Fick. — Fortschritte der Physik. Berlin seit 1845 bis jetzt. — G. Meissner, Jahresberichte über die Fortschritte der Physiologie von 1856 bis 1871 in den Berichten über die Fortschritte der Anatomie und Physiologie von Henle und Meissner. Leipzig und Heidelberg 1857 bis 1872. (Als besondere Abtheilung der Zeitschrift für rationelle Medicin.) Fortgesetzt seit 1872: Jahres-

bericht über die Fortschritte der Anatomie und Physiologie von Hoffmann und Schwalbe. — Nagel, Jahresbericht für Ophthalmologie seit 1870. (Bis jetzt erschienen I—IV. 1870—1873.) Physiologie des Auges: Referent Prof. Nagel.

I. Dioptrik.

§ 2. Cotes in Smith a complete system of Opticks. Cambridge 1738. II. rem. p. 76 (in der deutschen Bearbeitung von Kästner nicht enthalten.) — Euler, Règles générales pour la construction des telescopes et microscopes de quelque nombre de verres qu'ils soient composés. Histoire de l'Acad. de Berlin pour 1757. Berlin 1759 p. 283 — 1768 p. 201. — Précis d'une théorie générale de la dioptrique. Histoire de l'Acad. de Paris 1765 p. 555. — Lagrange, Sur la théorie des lunettes. Nouv. Mém. de l'Académie de Berlin 1780, p. 162. — Sur une loi générale d'optique ibid. Berlin 1805, Classe mathématique p. 1. — Piola, Sulla theoria de' cannocchiali in: Effemeridi astronom. di Milano. Milano 1821. — Möbius, Kurze Darstellung der Haupteigenschaften eines Systems von Linsengläsern in: Crelle Journal für Mathematik 1830, Bd. 5, p. 513 und Bd. 6, p. 215. — Bessel, Ueber die Grundformeln der Dioptrik in: Astronomische Nachrichten. Altona 1841. Bd. 18, p. 97. — Gauss, Dioptrische Untersuchungen. Göttingen 1841. (Besonderer Abdruck aus Abhandlungen der Kön. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. T. I. 1838—1843.) — Encke, De formulis dioptricis. Programm. Berlin 1844. — Moser, Methode, die Brennweite und optischen Hauptpunkte von Linsen zu bestimmen. Poggendorff's Annalen 1844. Bd. 63, p. 39. — Listing, Beitrag zur physiologischen Optik. Göttingen 1845. (Abdruck aus den Göttinger Studien 1845.) —— Dioptrik des Auges in Handwörterbuch der Physiologie, herausgegeben von Wagner Bd. IV. p. 451. Braunschweig 1853. — Möbius, Entwickelung der Lehre von dioptrischen Bildern mit Hülfe der Collineationsverwandtschaft. Berichte der Leipziger Gesellschaft der Wissenschaften 1855, p. 8. — Zehender, Anleitung zum Studium der Dioptrik des menschlichen Auges. Erlangen 1856. — J. Müller, Zur Dioptrik der Linse. Poggendorff's Annalen 1866. Bd. 130, p. 100. — Neumann, Die Haupt- und Brennpunkte eines Linsensystems. Leipzig 1866. — Listing, Ueber einige merkwürdige Punkte in Linsen und Linsensystemen. Poggendorff's Annalen 1866. Bd. 129, p. 466. — Gerold, Die ophthalmologische Physik. Wien 1869. — Reusch, Constructionen zur Lehre von den Haupt- und Brennpunkten eines Linsensystems. Leipzig 1870. — Töpler, Bemerkungen über die Anzahl der Fundamentalpunkte eines beliebigen Systems von centrirten brechenden Kugelflächen. Poggendorff's Annalen 1871. Bd. 142, p. 232. — Hansen, Untersuchung des Weges eines Lichtstrahles durch eine beliebige Anzahl von brechenden sphärischen Oberflächen. Leipzig 1871. — Lippich, Fundamentalpunkte eines Systems centrirter brechender Kugelflächen. Graz 1871. (Abdruck aus Bd. II. der Mittheilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark.) — V. von Lang, Zur Dioptrik eines Systems centrirter Kugelflächen. Wiener Akademie-Berichte 1873, Bd. 63, p. 666. Poggendorff's Annalen 1873, Bd. 149, p. 353. — J. Müller in Freiburg, Die Beziehungen der Brennweite und der conjugirten Punkte einer Linse durch eine neue Formel dargestellt. Poggendorff's Annalen 1874. Jubelband p. 460. — Kiessling, Die Brechung der Lichtstrahlen im Auge. Hamburg. (Schulprogramm 1874, nicht im Buchhandel.) — Hirschberg, Zur Dioptrik des Auges. I. Die Brechung homocentrischer paraxialer Strahlenbündel in einem beliebigen centrirten System kugliger Flächen. Centralblatt für die medicin. Wissensch. 1875, p. 769.

§ 3. Petit, Mémoires sur les yeux etc. in Mémoires de l'Academ. de Paris 1723, 1726, 1728, 1730. — David Brewster, A Treatise on new Philosophical Instruments. Edinburgh 1813, p. 243. (Brechungsexponenten.) — Chossat, Mémoire sur le pouvoir réfringant des milieux de l'oeil, Annales de Chimie et de Physique 1818. T. III. p. 217. — Biot, Lehrbuch der Experimentalphysik. Bearbeitet von Fechner 1828. Bd. IV.

p. 468. — Cahours et Becquerel, Recherches sur les pouvoirs réfringents des liquides. Compt. rend. 1840. T. 11, p. 867. — Brücke, Ueber das Verhalten der optischen Medien des Auges gegen Licht- und Wärmestrahlen. Müller's Archiv 1845, p. 262. — Engel, Zur Physik des Auges. Prager Vierteljahrschrift 1850, Bd. I, p. 152. (cf. Ryba, Prüfung des Brechungsvermögens durchsichtiger Körper ibid. 1852, Bd. II. p. 95 und Mayer ibid. 1851, Bd. IV. p. 92.) — W. Krause, Die Brechungsindices der durchsichtigen Medien des menschlichen Auges. Hannover 1855. — Zehender, Ueber die Brewster'sche Methode zur Bestimmung der Brechungsexponenten flüssiger oder festweicher Substanzen. Arch. f. Ophth. 1857. III. 1, p. 99. — Fleischer, Neue Bestimmungen der Brechungsexponenten der durchsichtigen flüssigen Medien des Auges. Inaug. Diss. Jena 1872. — Abbe, Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper. Jena 1874. — Woinow, Ueber die Brechungscoefficienten der verschiedenen Linsenschichten. Briefl. Mitth. in Monatsblätter für Augenheilkunde Jahrg. XII. 1874, p. 407. — Hirschberg, Ueber Bestimmung der Brechungsindices der flüssigen Medien des menschlichen Auges. Centralblatt für d. medicin. Wissenschaften 1874. No. 13. —— Ophthalmologische Studien. Wiesbaden 1874. (Separatabdruck aus: Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde Bd. IV. 1, p. 1.): Ueber das Brechungsverhältniss der flüssigen Medien des menschlichen Auges. — L. Hermann, Ueber schiefen Durchgang von Strahlenbündeln durch Linsen und eine darauf bezügliche Eigenschaft der Krystalllinse. Gratulationsschrift an C. Ludwig, Zürich 1874 und Poggendorff's Annalen 1874, Bd. 153, p. 470.

§ 1—12. Thomas Young, On the mechanisme of the eye. Philos. Transactions 1801. P. I. p. 23. — C. Krause, Einige Bemerkungen über den Bau und die Dimensionen des menschlichen Auges. Meckel's Archiv 1832, Bd. VI. p. 86 und Poggendorff's Ann. 1834, Bd. 31, p. 93. Fortsetzung Poggendorff's Annalen 1836, Bd. 39, p. 529. — Senff s. Volkmann, Art. Sehen in Handwörterbuch der Physiologie 1846, III. 1, p. 271, 289 und 302. — Helmholtz, Ueber die Accommodation des Auges. Arch. f. Ophth. 1853, I. 2, p. 1. — Knapp, Die Krümmung der Hornhaut des menschlichen Auges. (Habilitationsschrift) Heidelberg 1859. —— Ueber die Lage und Krümmung der Oberflächen der menschlichen Krystalllinse und den Einfluss ihrer Veränderungen bei der Accommodation auf die Dioptrik des Auges. Arch. f. Ophth. 1860, VI. 2, p. 1. cf. VII. 2, p. 136. — Meyerstein, Beschreibung eines Ophthalmometers nach Helmholtz. Poggendorff's Annalen 1860, Bd. 111, p. 415. — Middelburg, De Zitplaats van het Astigmatisme. Utrecht 1862. — Mandelstamm, Zur Ophthalmometrie. Archiv für Ophth. 1865, XI, 2, p. 259. — Rosow, Zur Ophthalmometrie. Arch. f. Ophth. 1865, XI. 2, p. 129. (Sonnenlicht.) — Donders, Die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges. Deutsch von O. Becker. Wien 1866. — Reuss und Woinow, Ophthalmometrische Studien. Wien 1869. — Mauthner, Ueber den Winkel α, in Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde 1869, p. 481 und Wiener Medicinische Presse 1869, No. 34—37. — Strawbridge, Ophthalmometrische Messungen, in Sitzungsberichte der Ophthalmologischen Gesellschaft. Klinische Monatsblätter, Stuttgart 1869, p. 480. — Woinow, Weitere Beiträge zur Kenntniss des Winkels α. Arch. f. Ophth. 1870, XVI. 1, p. 225. —— Ophthalmometrie. Wien 1871. — Mandelstamm und Schöler, Eine neue Methode zur Bestimmung der optischen Constanten des Auges. Arch. f. Ophth. 1872, XVIII. 1, p. 155. — Reich, Einige Resultate ophthalmometrischer und mikrooptometrischer Messungen. Arch. f. Ophth. 1874, XX. 1, p. 207. — Bauer, Ueber den scheinbaren Ort eines in einem dichteren durchsichtigen Medium befindlichen, sowie eines durch eine sogenannte planparallele Platte beobachteten Lichtpunktes. Poggendorff's Annalen 1874, Bd. 153, p. 572. — Hirschberg, Zur ophthalmometrischen Rechnung (Ableitung der Grundformel für den Krümmungsradius eines beliebigen Ellipsenpunktes). Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde 1874, III. 2, p. 160. — Mönnich, Untersuchungen über die scheinbare Ortsveränderung eines leuchtenden

Punktes durch ein von zwei parallelen Ebenen begrenztes lichtbrechendes Medium. Rostock 1875.

§ 13—15. Scheiner, Oculus sive fundamentum opticum. Oeniponti 1619, p. 32. — Pemberton, De facultate oculi, qua ad diversas distantias se accommodat. Diss. inaug. Lugduni Batavorum 1719. (Formveränderung der Krystalllinse behauptet.) — Olbers, De oculi mutationibus internis. Diss. inaug. Göttingen 1780. (Linsenbewegung.) — Hueck, Die Bewegung der Krystalllinse. Dorpat 1839. — Thalheim, De oculi mechanismo, imprimis vi obiectis se accommodandi. Diss. inaug. Halle 1842. — Brücke, Ueber den Musculus Cramptonianus und den Spannmuskel der Chorioidea. Berliner Akademie-Berichte 1846, 29. Mai. Müller's Archiv 1846, p. 370. — Max Langenbeck, Klinische Beiträge aus dem Gebiete der Therapie und Ophthalmologie. Göttingen 1849. Heft I. — Cramer (in Groningen), Het Accommodatievermogen der Oogen. Haarlem 1853. Uebersetzt von Doden. Leer 1855. (Auszug in Fechner, Centralblatt für Naturwissenschaften. II. Jahrgang 1854, p. 121.) — L. und A. Fick, Ueber die Adaption (Accommodation) des Auges. Müller's Archiv 1853, p. 449. — Ruete, Ueber angebornen Irismangel und dessen Einfluss auf die Accommodation. Virchow's Archiv 1855, XII. p. 342. — Czermak, Von den Accommodationslinien. Physiologische Studien, p. 1 und Wiener Akademie-Berichte 1854, Bd. XII. p. 322 und ibid. 1855, Bd. XV. p. 425. — Arlt, Zur Anatomie des Auges. Archiv für Ophth. 1856, III. 2, p. 87. — Czermak, Ueber das Accommodationsphosphen. Wiener Akademie-Berichte 1857, Bd. 27, p. 78 und Arch. f. Ophthalm. 1860, VII. 1, p. 147. — Vierordt, Versuche über die Zeitverhältnisse des Accommodationsvermögens im Auge. Archiv f. physiol. Heilk. 1857. Neue Folge I. p. 17. — Mannhardt, Bemerkungen über den Accommodationsmuskel und die Accommodation. Arch. f. Ophth. 1858, IV. 1, p. 269. — Henke, Der Mechanismus der Accommodation für Nähe und Ferne. Arch. f. Ophth. 1860, VI. 2, p. 53. — Aeby, Die Accommodationsgeschwindigkeit des menschlichen Auges. Zeitschrift für rationelle Medicin 1861, 3. Reihe, XI. p. 300. — Pope, Beiträge zur Optik des Auges: 1) das Farbenspectrum als Mittel zur Messung der Accommodation und der chromatischen Abweichung. 2) Eine neue Art der Asymmetrie des Auges. 3) Erklärung des Entstehens der Irradiation. Arch. f. Ophth. 1863, IX. 1, p. 41. — Witter, Ueber den Grund der accommodatorischen Formveränderung der Linse. Arch. f. Ophth. 1863, IX. 1, p. 207. — Heiberg, Zur Anatomie und Physiologie der *Zonula Zinnii*. Arch. f. Ophth. 1865, XI. 3, p. 168. — Trautvetter, Ueber den Nerv der Accommodation. Archiv für Ophth. 1866, XII. 1, p. 95. — Coccius, Der Mechanismus der Accommodation des menschlichen Auges. Leipzig 1868. — Hensen und Völckers, Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Accommodation. Kiel 1868. — F. E. Schulze, Der Ciliarmuskel des Menschen. Arch. f. mikroscop. Anat. 1867, III. p. 477. — W. v. Bezold, Versuche über Zerstreuungsbilder. Archiv f. Ophthalm. 1868, XIV. 2, p. 1. Poggendorff's Annalen. 1869, Bd. 138, p. 554. —— Ueber objective Darstellung von Zerstreuungsbildern. Ibid. 1869, XV. 3, p. 281. — Woinow, Zur Frage über die Accommodation. Arch. f. Ophth. 1869, XV. 2, p. 167. — Adamük und Woinow, Zur Frage über die Accommodation der Presbyopen. Arch. f. Ophth. 1870. XVI. 1, p. 144. — Knapp, Ueber den Einfluss der Brillen auf die optischen Constanten und die Sehschärfe des Auges. Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde 1870, Bd. I. 2, p. 152. — Schneller, Beiträge zur Lehre von der Accommodation und Refraction. Arch. f. Ophth. 1870, XVI. 1, p. 176. — Adamük, Bijdrage tot het mechanisme der accommodatie. Onderzoekingen in het Physiol. Laborat. te Utrecht 1870. Tweede Reeks III. p. 403. — Förster, Accommodationsvermögen bei Aphakie. Klinische Monatsbl. f. Augenheilk. X. 1872. Februarheft p. 39. — Donders, Ueber scheinbare Accommodation bei Aphakie. Arch. f. Ophth. 1873, XIX. 1, p. 56. — Woinow, Das Accommodationsvermögen bei Aphakie. A. f. Ophth. 1873, XIX. 3, p. 107. — Hensen und Völckers, Ueber die Accommodationsbewegung der Chorioidea im Auge des

Menschen, Affen und der Katze. Arch. f. Ophth. 1873, XIX. 1, p. 156. — Nagel, Ueber die Benutzung des Metermaasses zur Numerirung der Brillen. Klinische Monatsbl. für Augenheilkunde 1874. Decemberheft.

§ 16. Lambert, Photometria. Augustae Vindelicorum 1760. — E. H. Weber, Annotationes anatomicae et physiologicae III. Lipsiae 1851. 1) Tractatus de motu iridis (1821). 2) Summa doctrinae de motu iridis (1851). — Stampfer, Methode, den Durchmesser der Pupille sowohl bei Tage als bei Nacht am eigenen Auge zu messen. Wiener Akad.-Berichte 1852, Bd. VIII. p. 511. — Valentin, De functionibus nervorum cerebralium Libri IV. Bernae 1839. — Budge, Ueber die Bewegung der Iris. Braunschweig 1855. — Dubrunfaut, Note sur la vision. Compt. rend. 1855. T. 41, p. 1087. — Czermak, Ueber die Wirkung des Atropin auf die Iris. Wiener Akademie-Berichte 1860, Bd. 39, p. 526. — Fechner, Ueber einige Verhältnisse des binocularen Sehens. Leipzig 1860. Aus den Abhandlungen der Leipziger Akademie Bd. VII. p. 339—563. — v. Gräfe, Ueber Calabar-Bohne. Arch. f. Ophth. 1863, IX. 3, p. 87—128. — F. Arlt jun., Beitrag zur Kenntniss der Zeitverhältnisse bei den Bewegungen der Iris. Arch. f. Ophth. 1869, XV. 1, p. 294. — Adamük und Woinow, Ueber die Pupillenveränderung bei der Accommodation. A. f. Ophth. 1871, XVII. 1, p. 158. — Donders, Reflexie-beweging der beide pupillen, bij het invallen van licht aan ééne zijde. (Separatabdruck.) — Grünhagen, Zur Irisbewegung. Pflüger's Archiv f. Physiologie 1870, III. p. 440.

§ 17—19. Czermak, Ueber die Wirkung punktförmiger Diaphragmen auf das Sehen. (Physiologische Studien p. 12.) Wiener Akademie-Berichte 1854, Bd. XII. p. 334 und 1855, XV. p. 431. — Volkmann, Theorie zur Berechnung der von mir gemessenen Zerstreuungskreise des Lichts bei fehlerhafter Accommodation des Auges. Poggendorff's Annalen 1838, Bd. 45, p. 193. — Plateau, Ueber Irradiation. Poggendorff's Annalen 1842. Ergänzungsband I. p. 79, p. 193 und p. 405. — Welker, Ueber Irradiation und einige andere Erscheinungen des Sehens. Giessen 1852. — Fliedner, Beobachtungen über Zerstreuungsbilder im Auge, sowie über die Theorie des Sehens. Poggendorff's Annalen 1852, Bd. 85, p. 321. — Sturm, Sur la théorie de la vision. Comptes rendus 1845, XX. p. 554, 761, 1238. Poggendorff's Annalen 1845, Bd. 65, p. 116 und p. 374. Brennlinie.) — H. Meyer in Leipzig, Ueber die sphärische Abweichung des menschlichen Auges. Poggendorff's Annalen 1853, Bd. 89, p. 540. —— Beugungserscheinungen im menschlichen Auge. Poggendorff's Annalen 1855, Bd. 96, p. 603. — F. Zöllner, Beiträge zur Kenntniss der chromatischen und monochromatischen Abweichungen des Auges. Poggendorff's Annalen 1860, Bd. 111, p. 329. — Donders, Beiträge zur Kenntniss der Refractions- und Accommodations-Anomalien. Archiv für Ophthalm. 1860, VI. 1, p. 62—106. VI. 2, p. 210. VII. 1, p. 155. —— Astigmatismus und cylindrische Gläser. Berlin 1862. —— Die Refractions-Anomalien des Auges und ihre Folgen: Poggendorff's Annalen 1862, Bd. 120, p. 452, woselbst die vollständige Zusammenstellung von Donders' Arbeiten hierüber bis 1862 gegeben ist. — Knapp, Ueber die Asymmetrie des Auges in seinen verschiedenen Meridiansystemen. Arch. f. Ophthalm. 1862, VIII. 2, p. 185—241. — Kaiser, Die Theorie des Astigmatismus. Arch. f. Ophth. 1865, XI. 3, p. 186. — Schirmer, Die Lehre von den Refractions- und Accommodations-Störungen des Auges. Berlin 1866. — Brücke, Ueber asymmetrische Strahlenbrechung im menschlichen Auge. Wiener Akademie-Berichte 1868, Bd. 58, II. p. 321. — Burchardt's Internationale Sehproben. 2. Auflage. Cassel 1871. — Hay (in Boston), Ueber Knapp's allgemeine Formeln für astigmatische Strahlen und deren Specialanwendung auf das Auge. Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde II. 1, 1871, p. 187. — Mauthner, Vorlesungen über die optische Fehler des Auges. I. Abth. p. 1—72. Wien 1872. — Fraunhofer, Bestimmung des Brechungs- und des Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung astronomischer Fernröhre. Denkschriften der Bayrischen Akademie. München 1814 und 1815, Bd. V. p. 193. Gilbert's Annalen der Physik 1814, Bd. 56, p. 304. cf. Schu-

macher Abhandlungen 1823, Heft II. p. 39. (Beilage zu den astronom. Nachrichten.) — Tourtual, Die Chromasie des Auges. Meckel's Archiv 1830, T. V. p. 129. — A. Matthiessen (d'Altona), Détermination exacte de la dispersion de l'oeil humain par les mésures directes. Comptes rendus 1847. T. XXIV. p. 875. Deutsch in Poggendorff's Annalen 1847, Bd. 71, p. 578. — Czermak, Zur Chromasie des Auges. Wiener Akademie-Berichte 1855, Bd. XVII. p. 563. — A. Fick, Einige Versuche über die chromatische Abweichung des menschlichen Auges. Arch. f. Ophth. 1856, II. 2, p. 70.

§ 20—21. (Wegen der Literatur zu § 20 und § 21 verweisen wir auf die Literatur in Bd. III. 1 dieses Handbuches p. 180 und 181, ferner p. 169—173, und führen hier nur an): Brücke, Ueber das Leuchten der menschlichen Augen. Müller's Archiv 1847, p. 225 und p. 479. — Helmholtz, Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge. 1851. —— Ueber einen neuen Augenspiegel. Vierordt's Archiv für physiol. Heilk. 1852. Ergänzungsheft. — Coccius, Glaucom, Entzündung und die Autopsie mit dem Augenspiegel. 1859. — Heymann, Die Autoscopie des Auges. Leipzig 1863.

II. Empfindung.

§ 22—23. (Allgemeines.)

Elliot, Observations on the Senses. 1780. Beobachtungen über die Sinne. Leipzig 1785. — Steinbuch, Beitrag zur Physiologie der Sinne. Nürnberg 1811. — Purkinje, Commentatio de examine physiologico Organi visus et Systematis cutanei (Habilitationsschrift zur ordentlichen Professur). Vratislaviae 1823. —— Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. I. Beiträge zur Kenntniss des Sehens in subjectiver Hinsicht. Prag 1823. II. Neue Beiträge zur Kenntniss des Sehens in subjectiver Hinsicht. Berlin 1825. — J. Müller, Ueber die phantastischen Gesichtserscheinungen. Coblenz 1826. — Hiort, De Functione retinae. Diss. inaug. Christiania 1826. (Licht- und Farbenempfindung.) — Förster, Ueber Hemeralopie und die Anwendung eines Photometers im Gebiete der Ophthalmologie. (Habilitationsschrift.) Breslau 1857. — Fechner, Ueber ein wichtiges psychophysisches Gesetz. Abhandlungen der Königl. Sächs. Akad. zu Leipzig, Bd. IV. 1858, p. 457 und Nachtrag dazu in Berichte d. Akad. zu Leipzig 1859, p. 58. —— Elemente der Psychophysik. Leipzig 1860. 2 Bände. — Aubert, Beiträge zur Physiologie der Netzhaut. Abhandlungen der Schles. Ges. für vaterl. Cultur 1861, p. 49 und Moleschott's Untersuchungen VIII. p. 243. — Fechner, Ueber die Frage des psychophysischen Grundgesetzes mit Rücksicht auf Aubert's Versuche. Berichte der Sächs. Ges. d. Wissensch. Leipzig 1864, p. 1. — Aubert, Untersuchungen über die Sinnesthätigkeiten der Netzhaut. Poggendorff's Ann. 1862, Bd. 115, p. 87 und Bd. 116, p. 249. —— Ueber subjective Lichterscheinungen. Poggendorff's Annalen 1862, Bd. 117, p. 638. — Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung 1862. (Auch erschienen in Zeitschrift für ration. Medicin. 1858—1862.) — W. Wundt, Grundzüge der physiologischen Psychologie. Leipzig 1874. — Oppel, Ueber subjective Lichterscheinungen. Poggendorff's Annalen 1863, Bd. 118, p. 480. — Dastich, Ueber die neueren physiologisch-psychologischen Forschungen im Gebiete der menschlichen Sinne. Prag 1864. (Abhandlungen der Köngl. Böhm. Ges. d. Wiss. V. Folge, 13. Bd.) — Aubert, Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865. — Hering, Zur Lehre vom Lichtsinne. Wiener Akademie-Berichte 1872, Bd. 66. 1874 Bd. 69: I. Ueber successive Lichtinduction. 1872, Juniheft. II. Ueber simultanen Lichtcontrast. 1873, Decemberheft. III. Ueber simultane Lichtinduction und über successiven Contrast, 1873, Decemberheft. IV. Ueber die sogenannte Intensität der Lichtempfindung und über die Empfindung des Schwarzen, 1874, Märzheft. V. Grundzüge einer Theorie des Lichtsinnes, 1874, Aprilheft. VI. Grundzüge einer Theorie des Farbensinnes 1874. Maiheft. — Talma, Over licht en kleurperceptie. Bijbladen 14de Verslag 1873. Nederl.

Gasthuis for ooglijders p. 129. — Plateau, Ueber die Messung psychischer Empfindungen und das Gesetz, welches die Stärke dieser Empfindungen mit der Stärke der erregenden Ursache verknüpft. Poggendorff's Annalen 1873, Bd. 150, p. 465 (aus Bullet. de l'Acad. de Belgique T. 33, p. 1772).

§ 24—27. Littrow, Die Wunder des Himmels. Stuttgart 1837. — Talbot, Phil. Magazine Ser. III. Vol. V. p. 321 bei Plateau, Poggendorff's Annalen 1835, Bd. 35, p. 459 citirt. — Bouguer, Traité d'Optique sur la gradation de la lumière par Lacaille 1760; oder: Bougeri Optice de diversis luminis gradibus dimetiendis in Latinum conversum a J. Richtenburg. Viennae 1762. — Masson, Electro-photometrische Studien oder: Etudes de Photométrie électrique. Poggendorff's Annalen 1844, Bd. 63, p. 158 aus Compt. rend. T. XVIII. p. 289 und Annales de Chimie et de Physique 1845. 3me ser. T. XIV. p. 129. — Maxwell, Experiments on colour perceived by the eye with remarks on colour-blindness. Edinburgh Transactions 1855, Bd. 21, p. 275 und Edinburgh Journal 1855, I. p. 359. — J. Herschel, Vom Licht. Deutsch von Schmidt, Stuttgart 1831. — Klein, De l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle. Paris 1873. Arago, Populäre Astronomie. Deutsch von Hankel 1855. Astronomie populaire T. I. Oeuvres T. X. — Ruete, Explicatio facti, quod minimae paullum lucentes stellae tantum peripheria retinae cerni possint. Programm. Leipzig 1859. — Hensen, Ueber das Sehen in der *Fovea centralis*. Virchow's Archiv f. path. Anat. 1867, Bd. 39, p. 475.

§ 28—30. Fechner, Ueber die Contrastempfindung. Berichte der Leipziger Akademie 1860, p. 71. — L. Hermann, Eine Erscheinung simultanen Contrastes. Pflüger's Archiv für Physiologie Bd. III. 1870, p. 13. — Mach, Ueber die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut (I.) Wiener Akademie-Berichte 1865, Bd. 52, p. 303. (II.) ibid. 1866, Bd. 54, II. p. 131. (III.) ibid. p. 393. (IV.) ibid. 1868, Bd. 57, II. p. 11. —— Bemerkungen über intermittirende Lichtreize. Reichert und Dubois' Archiv 1865, p. 629. — Mach, Ueber die Abhängigkeit der Netzhautstellen von einander. Vierteljahrsschrift für Psychiatrie 1868. — Brewster, Das Stereoscop. Deutsch von Schmidt. Weimar 1862. — Valerius, Beschreibung eines Verfahrens zur Messung der Vorzüge des binocularen Sehens gegen das monoculare, in Betreff sowohl der Helligkeit als Deutlichkeit. Poggendorff's Annalen 1873, Bd. 150, p. 317 (aus den Bullet. de l'acad. de Bruxelles T. 34). — A. Fick, Ueber den zeitlichen Verlauf der Erregung in der Netzhaut. Reichert's und Dubois' Archiv 1863, p. 739. — Brücke, Ueber den Netzeffect intermittirender Netzhautreizungen. Wiener Akad.-Berichte 1864, Bd. 49, p. 128. — C. F. Müller, Versuche über den Verlauf der Netzhautermüdung. Inaug. Diss. Zürich 1866. — Exner, Ueber die zu einer Gesichtswahrnehmung nöthige Zeit. Wiener Akademie-Berichte 1868, Bd. 58, II, p. 601. — Baxt, Ueber die Zeit, welche nöthig ist, damit ein Gesichtseindruck zum Bewusstsein kommt und über die Grösse (Extension) der bewussten Wahrnehmung bei einem Gesichtseindrucke von gegebener Dauer. Pflüger's Archiv f. Physiologie 1871, IV. p. 325. — Troxler, Ueber das Verschwinden gegebener Gegenstände innerhalb unseres Gesichtskreises. Himly und Schmidt, Ophthalmol. Bibliothek 1802, II. p. 1. — Maxwell, On the unequal sensibility of the foramen centrale to light of different colours. Edinburgh Journ. 1856, IV. p. 337. — Brewster, Briefe über natürliche Magie an Walter Scott. Berlin 1835.

§ 31—33. Peiresc, Vita Peirescii von Gassendi, Edit. tertia 1658, p. 175. — Plateau, Essai d'une Théorie générale comprenant l'ensemble des Apparences qui succèdent à la contemplation des Objets colorés etc. Annales de Chimie et de Physique 1835, Bd. 58, p. 337. Poggendorff's Annalen 1834, Bd. 32, p. 543. — Brücke, Untersuchung über subjective Farben. Poggendorff's Annalen 1851, Bd. 84, p. 418. — Emsmann, Ueber die Dauer des Lichteindrucks. Poggendorff's Annalen 1854, Bd. 91, p. 611. — Aubert, Ueber die durch den elektrischen Funken erzeugten Nachbilder. Moleschott's Unters. z. Naturlehre d. Menschen 1858, V. p. 280. — Dvořák, Versuche über die Nachbilder von Reizveränderungen. Wiener Akademie-Berichte 1870, Bd. 61, März. — Exner,

Bemerkungen über intermittirende Netzhautreizung. Pflüger's Archiv für Physiologie Bd. III. 1870, p. 214. —— Erregungsvorgang im Sehnervenapparate. Wiener Akademie-Berichte 1872, Bd. 65, Februarheft. — Fechner, Ueber die subjectiven Nach- und Nebenbilder. Poggendorff's Annalen 1840, Bd. 50, p. 193 u. p. 427. — Aubert, Ueber das Verhalten der Nachbilder auf den peripherischen Theilen der Netzhaut. Moleschott's Untersuchungen 1858, Bd. IV. p. 215. — Marangoni, Neue Methode, die Blendungsbilder im Auge zu entwickeln. Poggendorff's Annalen 1872, Bd. 146, p. 115. (Aus dem Nuovo Cimento 1870, Februar und März.) — d'Arcy, Sur la durée de la sensation de la vue. Mémoires de l'Acad. de Paris 1765, p. 450. — Talbot (citirt von Plateau). Philos. Magaz. Ser. III. 1834, Vol. V. p. 321. — Plateau, Betrachtungen über ein von Talbot vorgeschlagenes photometrisches Princip. Poggendorff's Annalen 1835, Bd. 35, p. 458 aus Bulletin de l'Acad. roy. de Bruxelles 1835, No. 2, p. 52 und No. 3, p. 89.

§ 34. Leonardo da Vinci, Trattato della Pittura 1519. Paris 1561. Mahlerey 1786, p. 114. — Lambert, Beschreibung einer mit dem Calauischen Wachse ausgemahlten Farbenpyramide. Berlin 1772. — Goethe, Zur Farbenlehre 1810. (In Goethe's Werken enthalten.) Geschichte der Farbenlehre (in Goethe's Werken). — Thomas Young, Bakerian Lecture, On the Theory of Light and Colours. Philosophical Transactions 1802, P. I. p. 12. — Plateau, Ueber einige Eigenschaften der vom Lichte auf das Gesichtsorgan hervorgebrachten Eindrücke. Poggendorff's Annalen 1830, Bd. 20, p. 304. — Brewster, Ueber Schwingungen in der Netzhaut, erregt durch die Wirkung leuchtender Punkte (Irradiation u. A.). Poggendorff's Annalen 1833, Bd. 27, p. 490, aus London and Edinburgh Phil. Magaz. Vol. I. p. 169. —— Beobachtungen über die Wirkung des Lichts auf die Netzhaut, nebst einer Untersuchung der von Smith beschriebenen Versuche. Poggendorff's Annalen 1838, Bd. 29, p. 339 aus Phil. Mag. Ser. III. Vol. II. p. 168. — Szokalsky, Ueber die Empfindungen der Farben in physiologischer und pathologischer Hinsicht. Giessen 1842. — Brewster, Bemerkungen über die Elementarfarben des Spectrums. Poggendorff's Annalen 1848, Bd. 75, p. 81, aus Philos. Magaz. Ser. III. T. 32, p. 489. — Unger, Ueber die Theorie der Farbenharmonie. Poggendorff's Ann. 1852, Bd. 87, p. 121. — Helmholtz, Ueber die Theorie der zusammengesetzten Farben. Poggendorff's Annalen 1852, Bd. 87, p. 45 und Müller's Archiv 1852. p. 461. —— Ueber Dr. Brewster's Analyse des Sonnenlichts. Poggendorff's Ann. 1852, Bd. 86, p. 501. — Helmholtz, Ueber die Zusammensetzung der Spectralfarben. Poggendorff's Annalen 1855, Bd. 94, p. 1. —— Ueber die Empfindlichkeit der menschlichen Netzhaut für die brechbarsten Strahlen des Sonnenlichtes. ibid. p. 205. — Grassmann, Zur Theorie der Farbenmischung. Poggendorff's Annalen 1853, Bd. 89. p. 69. — Dove, Darstellung der Farbenlehre und optische Studien. Berlin 1853. —— Optische Studien. Berlin 1859. — Donders, Ueber das Verhalten der unsichtbaren Lichtstrahlen von hoher Brechbarkeit in den Medien des Auges. Müller's Archiv 1853, p. 459. — Schopenhauer, Ueber das Sehen und die Farben. Leipzig 1854. — Gräf, Ueber den Einfluss der Farben auf die Beurtheilung der Grösse. Dissertation, Würzburg 1855. — Chevreul, Exposé d'un moyen de définir et nommer les couleurs, d'après une méthode précise et expérimentale, avec l'application de ce moyen à la définition et à la dénomination des couleurs d'un grand nombre de corps naturels et de produits artificiels. Mémoires de l'Academie des Sciences de L'institut impérial de France T. XXXIII. Paris 1861. — Dove, Ueber den Unterschied der auf der Palette des Malers entstehenden Mischfarben und der auf dem Farbenkreisel hervortretenden. Poggendorff's Annalen 1864, Bd. 121, p. 142. — Brücke, Die Physiologie der Farben für die Zwecke der Kunstgewerbe. Leipzig 1866. — Preyer, Ueber anomale Farbenempfindungen und die physiologischen Grundfarben. Pflüger's Archiv für Physiologie 1868, I. p. 299. — J. J. Müller, Zur Theorie der Farben. Poggendorff's Annalen 1870. Bd. 139, p. 411 u. p. 593, Arch. f. Ophthalm. 1869, XV. 2, p. 208. — J. K. Becker,

Zur Lehre von den subjectiven Farbenerscheinungen. Poggendorff's Annalen 1871. Ergänzungsband V. p. 305. — W. v. Bezold, Ueber das Gesetz der Farbenmischung und die physiologischen Grundfarben. Poggendorff's Annalen 1873, Bd. 150, p. 71 u. p. 221. — W. Schön, Zur Farbenempfindung. Berl. Klinische Wochenschrift 1874, No. 29. — J. Stilling, Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen. Stuttgart 1875. (Ausserordentliches Beilageheft zu den klinischen Monatsblättern für Augenheilkunde. XIII. Jahrgang.)

§ 35. Lambert, Photometria, sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Augustae Vindelicorum 1760. — Musschenbroek, Introductio ad Philosophiam 1768. T. II. § 1820. — Der Farbenkreisel von Busolt. Poggendorff's Ann. 1834, Bd. 32, p. 656. — Challis, Theoretische Auslegung einiger Thatsachen, die Zusammensetzung der Farben des Spectrums betreffend. Poggendorff's Annalen 1836, Bd. 37, p. 528. — C. Völckers, Ueber Farbenmischung in beiden Augen. Müller's Archiv 1838, p. 60. — Volkmann, Ueber die Empfindung, welche entsteht, wenn verschiedenfarbige Lichtstrahlen auf identische Netzhautstellen fallen. Müller's Archiv 1838, p. 373. — Mile, Ueber die Empfindung, welche entsteht, wenn verschiedenfarbige Lichtstrahlen auf dieselben Stellen der Retina eines einzigen Auges fallen. Müller's Archiv 1839, p. 64. — Dove, Ueber die Darstellung des Weiss aus Complementärfarben und über die optischen Erscheinungen, welche in rotirenden Polarisationsapparaten sich zeigen. Poggendorff's Ann. 1847, Bd. 71, p. 97. —— Optische Notizen: 1) Vereinigung prismatischer Farben zu Weiss, 2) über subjective Farben durch elektrische Beleuchtung. Poggendorff's Annalen 1867, Bd. 131, p. 655. —— Ueber subjective Farbenerscheinungen bei einem Farbenkreisel und eine darauf gegründete Methode, seine Umdrehungsgeschwindigkeit zu bestimmen. Poggendorff's Annalen 1847, Bd. 71, p. 112. — Plateau, Reclamation gegen Helmholtz über die Theorie der zusammengesetzten Farben etc. Poggendorff's Ann. 1853, Bd. 88, p. 172. (Moigno's Kosmos II. p. 241.) — Czermak, Eine Modification des Scheiner'schen Versuches. (Physiologische Studien p. 43.) Wiener Akademie-Berichte 1854, Bd. XII. p. 367 und 1855 XV. p. 457. — Maxwell, Experiments on colour, as perceived by the eye, with remarks on colour-blindness. Transactions of the Roy. Society of Edinburgh. Vol. XXI. 1855, p. 275. —— On the theory of compound colours and the Relations of the colours of the spectrum. Philos. Transactions 1860, T. 150, P. I. p. 57.

§ 37—40. Stokes, On the change of Refrangibility of Light. Philosoph. Transactions 1852, p. 463. — Dove, Ueber den Einfluss der Helligkeit einer weissen Beleuchtung auf die relative Intensität verschiedener Farben. Poggendorff's Annalen 1852, Bd. 85, p. 397. — Bohn, Ueber das Farbensehen und die Theorie der Mischfarben. Poggendorff's Annalen 1865, Bd. 125, p. 87. — Mandelstamm, Beitrag zur Physiologie der Farben. A. f. Ophth. 1867, XIII. 2, p. 399. — Vierordt, Beschreibung einer photometrischen Methode zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. Poggendorff's Annalen 1869, Bd. 137, p. 200. —— Die Messung der Lichtabsorption durchsichtiger Medien mittelst des Spectralapparates. Poggendorff's Ann. 1870, Bd. 140, p. 172. —— Die Anwendung des Spectralapparates zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. Tübingen 1871. — Woinow, Zur Frage über die Intensität der Farbenempfindungen. Arch. f. Ophth. 1870, XVI. 1, p. 251. — Lamansky, Ueber die Grenzen der Empfindlichkeit des Auges für Spectralfarben. Archiv f. Ophthalm. 1870, XVII. 1, p. 123. Poggendorff's Ann. 1871, Bd. 143, p. 633. — Dobrowolsky, Ueber Empfindlichkeit des Auges gegen verschiedene Spectralfarben. Arch. f. Ophth. 1872, XVIII. 1, p. 66. —— Ueber die Empfindlichkeit des Auges gegen die Lichtintensität verschiedener Spectralfarben. Arch. f. Ophth. 1872, XVIII. 1, p. 74. —— Ueber gleichmässige Ab- und Zunahme der Lichtintensität verschiedener Spectralfarben bei gleichmässiger Ab- und Zunahme der Lichtstärke des Gesammtlichtes. Arch. f. Ophth. 1872, XVIII. 1, p. 92. —— Zur Kenntniss über die Empfindlichkeit des Auges gegen Farben-

töne. Arch. f. Ophth. 1872, XVIII. 1, p. 98. — Bohn, Photometrische Untersuchungen (Helligkeit der Farben, Unterschiedsempfindlichkeit, Grenzen der Farbenempfindung u. A.). Poggendorff's Annalen 1874, Ergänzungsband VI. p. 386. — Grailich, Beitrag zur Theorie der gemischten Farben. Wiener Akademie-Berichte 1854, Bd. 13, p. 201. — Vierordt, Das Pendel als Messapparat der Dauer der Gesichtseindrücke und Burckhardt und Faber, Versuche über die zu einer Farbenempfindung erforderliche kleinste Zeit in Pflüger's Archiv für Physiologie Bd. II. 1869, p. 121 und 127.

§ 41—42. Struve, Mensurae micrometricae stellarum compositarum. Petropoli 1837, p. LXXV. — v. Wittich, Ueber die geringsten Ausdehnungen, welche man farbigen Objecten geben kann, um sie noch in ihrer specifischen Farbe wahrzunehmen. Königsberger medicin. Jahrbücher 1864, Bd. IV. p. 23. — Zöllner, Ueber Farbenbestimmung der Gestirne. Poggendorff's Annalen 1868, Bd. 135, p. 59. — Lichtenberger, Observationes quaedam de spectris objectorum extra fines visus distincti positorum. Diss. inaug. Leipzig 1839. — Aubert, Ueber die Grenzen der Farbenwahrnehmung auf den seitlichen Theilen der Netzhaut. Arch. f. Ophth. 1857, III. 2, p. 38. — Schelske, Zur Farbenempfindung. 1) Ueber Farbenblindheit des normalen Auges. 2) Ueber den Einfluss constanter elektrischer Ströme auf die Farbenempfindung des Auges. Arch. f. Ophth. 1863, IX. 3, p. 39—49 und p. 49—62. — Möser, Das Perimeter und seine Anwendung. Inaug. Diss. Breslau 1869. — Woinow, Zur Farbenempfindung. Arch. f. Ophth. 1870, XVI. 1, p. 212. — Landolt, Il Perimetro e la sua applicazione. Annali d'Ottalmologia. Milano 1871, p. 1. —— De la perception des couleurs à la periphérie de la rétine. Annales d'Oculistique 1874, p. 1. — W. Schön, Die Lehre vom Gesichtsfelde und seinen Anomalien. Berlin 1874. — Woinow, Beiträge zur Farbenlehre. A. f. O. 1875, XXI. 1, p. 223. — Klug, Ueber Farbenempfindung bei indirectem Sehen. A. f. O. 1875, XXI. 1, p. 251.

§ 43. Otto von Guericke, Experimenta nova Magdeburgica. 1672, p. 142. — Prieur de la Cote d'Or, Extrait d'un mémoire ayant pour titre: Considérations sur les couleurs et sur plusieurs de leurs apparences singulières, lu le 13 ventose an 13. Annales de Chimie 1805, T. 54, p. 1. Gilbert's Ann. d. Physik Bd. 21, 1806 p. 315. — Chevreul, Mémoire sur l'influence que deux couleurs peuvent avoir l'une sur l'autre, quand on les voit simultanément. (1828.) Mémoires de l'Institut 1832, p. 447. —— Die Farbenharmonie. Stuttgart 1840. — Smith, Versuche in Phil. Magaz. Ser. III. Vol. I. p. 249 bis 343, im Auszuge in Poggendorff's Ann. 1833, Bd. 29, p. 340. — Osann, Beschreibung einer einfachen Vorrichtung zur Hervorbringung sogenannter complementärer Farben und Nachweisung, dass die hiermit hervorgebrachten Farben objectiver Natur sind. Poggendorff's Ann. 1833, Bd. 27, p. 694. —— Ueber Ergänzungsfarben. Poggendorff's Ann. 1836, Bd. 37, p. 287. —— Nachträgliche Bemerkungen zu meinem Aufsatz über Ergänzungsfarben. Poggendorff's Ann. 1837, Bd. 42, p. 72. — Fechner, Ueber die Frage, ob die sogenannten Farben durch den Contrast objectiver Natur seien. Poggendorff's Ann. 1838, Bd. 44, p. 221 und 513. — Dove, Ueber subjective Complementärfarben. Poggendorff's Annalen 1838, Bd. 45, p. 158. — Graf Schaffgotsch, Ueber einige Apparate für subjective Farbenerscheinungen. Poggendorff's Ann. 1841, Bd. 54, p. 193. — Grüel, Ueber einen Apparat für die subjectiven Farbenerscheinungen. — Dove, Ueber Scheiben zur Darstellung subjectiver Farben. Poggendorff's Ann. 1848, Bd. 75, p. 524, bezw. 526. — Sinsteden, Ueber einen neuen Farbenkreisel zur Darstellung subjectiver Complementärfarben und eine eigenthümliche Erscheinung, welche die Orangefarbe dabei zeigt. Poggendorff's Annalen 1851, Bd. 84, p. 45. — Hermann Meyer (in Leipzig), Ueber Contrast- und Complementärfarben. Poggendorff's Annalen 1855, Bd. 95, p. 170. — Oppel, Ueber farbige Schatten, bewirkt durch weisses Licht. Jahresbericht des physik. Vereins zu Frankfurt a. M. 1859—60, p. 65. — F. Zöllner, Ueber eine neue Beziehung der Retina zu den Bewegungen der Iris (seitlicher Fensterversuch). Poggendorff's Ann. 1860, Bd. 111, p. 481 u. 660. — F. Burckhardt, Ueber

Contrastfarben. Poggendorff's Annalen 1863, Bd. 118, p. 303. — Brücke, Ueber Ergänzungs- und Contrastfarben. Wiener Akademie-Berichte 1865, Bd. 51, Aprilheft. — Rollett, Zur Physiologie der Contrastfarben. Wiener Akademie-Berichte 1867, Bd. 55, Februarheft, Märzheft u. Maiheft. — Dove, Ueber die subjectiven Farben an den Doppelbildern farbiger Glasplatten. Poggendorff's Ann. 1871, Bd. 143, p. 491. Berl. Akademie-Berichte 1871, April.

§ 44. Dove, Ueber das Binocularsehen prismatischer Farben und eine neue stereoscopische Methode. Poggendorff's Ann. 1850, Bd. 80, p. 446. —— Ueber die Ursachen des Glanzes und der Irradiation, abgeleitet aus chromatischen Versuchen mit dem Stereoscop. —— Beschreibung neuer Stereoscope, Prismenstereoscop etc. Poggendorff's Annalen 1851, Bd. 83, p. 169, ibid. p. 183. — Brücke, Ueber die Wirkung complementär gefärbter Gläser beim binocularen Sehen. Poggendorff's Ann. 1853, Bd. 90, p. 606 und Wiener Akademie-Berichte 1853, Juni. — Dove, Ueber Binocularsehen durch verschieden gefärbte Gläser. Poggendorff's Ann. 1857, Bd. 101, p. 147. — Oppel, Bemerkungen zur Stereoscopie, insbesondere zur Erklärung des Glanzes zweifarbiger Bilder. Poggendorff's Ann. 1857, Bd. 100, p. 462. — Panum, Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858. — Brücke, Ueber den Metallglanz. Wiener Akad.-Ber. 1861, Bd. 43, Januarheft. — Dove, Ueber Binocularsehen und subjective Farben. Poggendorff's Ann. 1861, Bd. 114, p. 163. Berl. Akad.-Ber. 1861, Mai. — Wundt, Ueber die Entstehung des Glanzes. Poggendorff's Annalen 1862, Bd. 116, p. 627. — Woinow, Ueber den Wettstreit der Sehfelder. Arch. f. Ophth. 1870, XVI. 1, p. 194. — W. v. Bezold, Ueber binoculare Farbenmischung. Poggendorff's Ann. 1874, Jubelband p. 585. — Dobrowolsky, Ueber binoculare Farbenmischung. Pflüger's Archiv 1875, X. p. 56.

§ 45—46. Plateau, Ueber einige Eigenschaften der vom Lichte auf das Gesichtsorgan hervorgebrachten Eindrücke. Poggendorff's Ann. 1830, Bd. 20, p. 304 (Bd. 96 der ganzen Folge der Annalen der Physik). Uebersetzung der Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière etc. par J. Plateau de Bruxelles. Liège 1829. — Laborde, Dauer der Lichteindrücke (für verschiedene Farben). Comptes rend. T. 63, p. 87, Poggendorff's Ann. 1866, Bd. 129, p. 660. — Kunkel, Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Zeit. Pflüger's Archiv f. Physiologie 1874, IX. p. 197. — Maria Bokowa, Ein Verfahren, künstliche Farbenblindheit hervorzubringen. Zeitschrift für ration. Med. 1863, III. Reihe, Bd. 17, p. 161. — Schön, Einfluss der Ermüdung auf die Farbenempfindung. Arch. f. Ophth. 1874, XX. 2, p. 273. — Buffon, Sur les couleurs accidentelles. Histoire de l'Acad. de Paris 1743, p. 215. — Aepinus, Observationes quaedam ad opticam pertinentes. I. De coloribus accidentalibus. Novi Commentarii Acad. scient. Petropolit. X. 1764, p. 282. — Scherffer, Abhandlung von den zufälligen Farben. Wien 1765. — Plateau, Essai d'une Théorie générale comprenant l'Ensemble des Apparences, qui succèdent à la contemplation des objets colorés. Annales de Chimie et de Physique 1835, T. 58, p. 337. — Fechner, Ueber die subjectiven Complementärfarben. Poggendorff's Ann. 1838, Bd. 44, p. 221 u. p. 513. —— Ueber eine Scheibe zur Erzeugung subjectiver Farben. Poggendorff's Ann. 1838, Bd. 45, p. 227. — Splittgerber, Methode, subjective und complementäre Farbenerscheinungen zu erregen. Poggendorff's Annalen 1840, Bd. 49, p. 587. — Knochenhauer, Ueber Blendungsbilder. Poggendorff's Ann. 1841, Bd. 53, p. 346. — Pickford, Beiträge zur Kenntniss des Sehens in subjectiver Hinsicht. Heidelberg 1842. (Nachbilder.) — Brewster, Ueber die Combination verlängerter directer Lichteindrücke auf die Netzhaut mit deren complementären Eindrücken. Poggendorff's Ann. 1844, Bd. 61, p. 138 und Phil. Magaz. Ser. III. Vol. XXII. p. 434. — Plateau, Notizen über neue sonderbare Anwendungen des Verweilens der Eindrücke auf der Netzhaut. I. Poggendorff's Ann. 1849, Bd. 78, p. 563. II. ibid. Bd. 79, p. 269. III. ibid. 1850, Bd. 80, p. 150. IV. ibid. p. 287. — Melsens, Recherches sur la persistance des im-

pressions de la retine. 1858. Extrait des Bullet. de l'Acad. roy. de Belgique 2me Ser. T. III. No. 11. — Séguin, Note sur les couleurs accidentelles. Compt. rendus 1858, T. 47, p. 200. — F. Burckhardt, Die Contrastfarben im Nachbilde. Poggendorff's Ann. 1866, Bd. 129, p. 529. — Adamük und Woinow, Beiträge zur Lehre von den negativen Nachbildern. Arch. f. Ophth. 1871, XVII. 1, p. 135. — Dvořák, Ueber Analoga der persönlichen Differenz zwischen beiden Augen und den Netzhautstellen desselben Auges. Wiener Akad.-Ber. 1872, 8. März. — Plateau, Sur les couleurs accidentelles ou subjectives. Extrait des Bulletins de l'Acad. roy. de Belgique 2me Ser. T. 39, No. 1. Janvier 1875. Bruxelles 1875.

§ 47. Seebeck, Ueber den bei manchen Personen vorkommenden Mangel an Farbensinn. Poggendorff's Annalen 1837, Bd. 42, p. 177. (Enthält die früheren Publicationen über Farbenblindheit ziemlich vollständig.) — Dalton, Memoirs of Lit. and Phil. Soc. of Manchester. Vol. V. 1831. Edinburgh. Journal of Science 1831. No. IX. July, p. 97. Edinburgh. Philos. Journal Vol. VI. — Oppel, Einige Beobachtungen und Versuche über partielle Farbenblindheit. Jahresbericht des physik. Vereins zu Frankfurt am Main 1859—1860, p. 70 und ibid. 1860—61, p. 42. — E. Rose, Ueber stehende Farbentäuschungen. Arch. f. Ophth. 1860, VII. 2, p. 72. — F. Burckhardt, Notiz, betreffend mangelnden Farbensinn. Poggendorff's Ann. 1865, Bd. 124, p. 343. — Leber, Ueber das Vorkommen von Anomalien des Farbensinnes bei Krankheiten des Auges. Arch. f. Ophth. 1869, XV. 3, p. 26. — Woinow, Zur Diagnose der Farbenblindheit. Arch. f. Ophth. 1871, XVII. 2, p. 241. — Briesewitz, Ueber das Farbensehen bei normalem und atrophischem *Nervus opticus*. Inaug. Diss. Greifswald 1872. — Dor, Ueber Farbenblindheit. Einwendungen gegen die Young-Helmholtz'sche Theorie. Sitzungsberichte der Berner naturforschenden Gesellschaft 1872. — Schirmer, Ueber erworbene und angeborene Anomalien des Farbensinnes. Arch. f. Ophth. 1873, XIX. 2, p. 194. (Im Auszuge in Klinische Wochenschrift, Berlin 1873, No. 5.) — Hochecker, Ueber angeborene Farbenblindheit. Arch. f. Ophth. 1873, XIX. 3, p. 1. — Raehlmann, Beiträge zur Lehre vom Daltonismus und seiner Bedeutung für die Young'sche Farbentheorie. Arch. f. Ophth. 1873, XIX. 3, p. 88. — Fick, Zur Theorie der Farbenblindheit. Verhandlungen der Physik.-Med. Ges. zu Würzburg 1873. N. F. V. p. 129. — W. Schön, Ueber die Grenzen der Farbenempfindungen in pathologischen Fällen. Klin. Monatsblätter für Augenheilkunde 1873, p. 171. — Leber, Ueber die Theorie der Farbenblindheit und über die Art und Weise, wie gewisse, der Untersuchung von Farbenblinden entnommene Einwände gegen die Young-Helmholtz'sche Theorie sich mit derselben vereinigen lassen. Sitzungsberichte der Ophthalmologischen Gesellschaft in Klinische Monatsblätter 1873, p. 467. — Treitel, Ueber das Verhalten der peripheren und centralen Farbenperception bei *atrophia nervi optici*. Inaug. Diss. Königsberg 1875. — Raehlmann, Ueber den Farbensinn bei Sehnervenerkrankungen. A. f. O. 1875. XXI. 2, p. 27. — Martini, Mémoire sur la coloration de la vue par l'action de la Santonine. Comptes rend. 1858, T. 47, p. 259. — Rose, Ueber die Farbenblindheit durch Genuss der Santonsäure. Virchow's Arch. 1860, XIX. p. 522. XX. p. 245. 1863. XXVIII. p. 30. — M. Schultze, Ueber den gelben Fleck der Retina, seinen Einfluss auf normales Sehen und auf Farbenblindheit. Bonn 1866. (Vortrag in der med. Section der niederrhein. Ges. für Nat. u. Heilk. zu Bonn, Mai 1866.) — Hüfner, Versuch einer Erklärung der im Santonrausche beobachteten Erscheinung von partieller Farbenblindheit im Sinne der Young'schen Theorie. Archiv f. Ophthalm. 1867. XIII. 2, p. 309. — W. Schön, Zur Farbenempfindung. II. Farbenstörung durch Santonin. Berl. Klinische Wochenschrift 1874, No. 29. — Niemetschek, Ueber Farbenblindheit und Farbensehen. Prager Vierteljahrschrift 1868, Bd. 100, p. 224.

§ 48—50. Serre (d'Uzès), Essai sur les Phosphènes. Paris 1853. — Czermak, Physiologische Studien. Abdruck aus den Wiener Akademie-Berichten 1854, Bd. XII. p. 364, 1855, Bd. XV. p. 454. —— Ueber das Accommodationsphosphen. Wiener Akademie-

Berichte 1857, Bd. XXVII. p. 78 und Archiv f. Ophthalmologie 1860, VII. 1, p. 147. — Vierordt, Physiologische Mittheilungen. (Chorioidealgefässe.) Archiv für physiol. Heilkunde 1856, p. 567. — Laiblin (Vierordt), Die Wahrnehmung der Chorioidealgefässe des eignen Auges. Inaug. Diss. Tübingen 1856. — Pope, Entoptische Erscheinungen im Zusammenhang mit dem Blutlauf. Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde 1869, Bd. I. 1, p. 72. —— Beiträge zur physiologischen Optik (entoptische Gefässerscheinungen) ibid. I. 2, 1870, p. 197. — Heuse, Ueber die Beobachtung einer neuen entoptischen Erscheinung. Arch. f. Ophth. 1872, XVIII. 2, p. 236. — Reich, Ueber einige subjective Erscheinungen bei gesteigertem intraocularen Druck. Klin. Monatsblätter 1874, p. 238. 1) Entoptische Pulsation, 2) Farbenempfindung. — Le Roy, Mémoires de Mathématique et de Physique de l'Academ. de France 1755, p. 86. — Ritter, Beiträge zur näheren Kenntniss des Galvanismus. Bd. II. p. 159. —— Wirkung des Galvanismus der Voltaischen Batterie auf menschliche Sinneswerkzeuge. Gilbert's Ann. d. Physik 1801, VII. p. 447. —— Von der Wirkung grösserer Voltaischer Säulen auf die Sinnesorgane, besonders auf das Auge u. s. w. Ibid. 1805, XIX. p. 1. — Brunner, Ein Beitrag zur elektrischen Reizung des *nervus opticus*. Leipzig 1863. — Rosenthal, Einwirkung des elektrischen Stromes auf die Centren der Sinnesorgane und die Haut. Allgem. Wiener Med. Zeitung 1872, No. 27 u. 28. — Schliephake, Beiträge zur Kenntniss der Einwirkung des galvanischen Stromes auf das menschliche Auge. Pflüger's Arch. f. Physiologie 1874, VIII. p. 565. — Haidinger, Ueber das directe Erkennen des polarisirten Lichts und der Lage der Polarisationsebene. Poggendorff's Annalen 1844, Bd. 63, p. 29. —— Beobachtung der Lichtpolarisationsbüschel in geradlinig polarisirtem Lichte. Poggendorff's Ann. 1846, Bd. 67, p. 435, Bd. 68, p. 73 u. p. 305. —— Helle Andreaskreuzlinien in der Sehaxe. Poggendorff's Annalen 1847, Bd. 70, p. 403. —— Das Interferenz-Schachbrettmuster und die Farbe der Polarisationsbüschel. Poggendorff's Ann. 1852, Bd. 85, p. 350. —— Die Loewe'schen Ringe, eine Beugungserscheinung. Poggendorff's Ann. 1852, Bd. 88, p. 451. —— Beitrag zur Erklärung der Farben der Polarisationsbüschel durch Beugung. Poggendorff's Annalen 1854, Bd. 91, p. 591. — Brewster, Ueber die Haidinger'schen Farbenbüschel. Poggendorff's Ann. 1859, Bd. 107, p. 346. — Burow, Der gelbe Fleck, im eignen Auge sichtbar. Müller's Archiv 1854, p. 166. — H. Meyer, Ueber den die Flamme eines Lichtes umgebenden Hof, so wie Beiträge zu »Unempfindlichkeit der Netzhaut in der Nähe starker Lichteindrücke«, »Mondhöfe«, »Loewe'sche Ringe« etc. Poggendorff's Ann. 1855, Bd. 96, p. 235. — van der Willigen, Eine Lichterscheinung im Auge. Poggendorff's Ann. 1857, Bd. 102, p. 147. — Heinrich Müller, Ueber eine von van Willigen erwähnte Lichterscheinung im Auge. Würzburger Verhandlungen 1859, Bd. IX. p. XXX. — Maxwell, On the unequal sensibility of the foramen centrale to light of different colours. Edinburgh Journal 1856, IV. p. 337. — Czermak, Die entoptische Wahrnehmung der Stäbchen- und Zapfenschicht. Wiener Akad.-Ber. 1860, Bd. 41, p. 645. —— Zur objectiven Erklärung einiger sogenannten subjectiven Gesichtserscheinungen. Wiener Akad.-Ber. 1861, Bd. 43, 2, p. 163. — Exner, Ueber einige neue subjective Gesichtserscheinungen. Pflüger's Archiv f. Physiol. 1868, I. p. 375 u. 1870, III. p. 233.

III. Wahrnehmung.

§ 51. (Allgemeines.)

Berkeley, An Essay towards a new theory of Vision (1709). In the Works of G. Berkeley edited by Fraser, Oxford 1871. Vol. I. p. 35. — Immanuel Kant, Kritik der reinen Vernunft. Siebente Auflage. Leipzig 1828. — Lotze, Medicinische Psychologie. Leipzig 1852. — Abbott, Sight and Touch: an attempt to disprove the received (or Berkeleian) Theory of Vision. London 1864. — Böhmer, Die Sinneswahrnehmung in ihren physiologischen und psychologischen Gesetzen. Erlangen 1864—1868. — Stumpf, Ueber den psychologischen Ursprung der Raumvorstellung. Leipzig 1873.

§ 52—57. Tobias Mayer, Experimenta circa visus aciem. Commentarii Soc. Götting. 1754, p. 97—112. — Hueck, Ueber die Grenzen des Sehvermögens. Muller's Archiv 1840, p. 82. — Bergmann, Zur Kenntniss des gelben Flecks der Netzhaut. Zeitschrift für rat. Medic. 1854. Neue Folge V. p. 245. — Heinrich Müller, Bemerkungen über die Zapfen am gelben Fleck des Menschen. Würzburger Naturwissensch. Zeitschrift 1861, II. p. 218. — Volkmann, Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik. Erstes Heft. Leipzig 1863. Zweites Heft 1864. — M. Schultze, Zur Anatomie und Physiologie der Retina. Arch. f. mikroscop. Anat. 1866, II. p. 175. —— Neue Beiträge zur Anat. und Physiol. d. Retina des Menschen. Arch. f. mikroscop. Anat. 1871, VII. p. 244. —— Ueber Stäbchen und Zapfen der Retina. Arch. f. mikroscop. Anat. 1867, III. p. 215. —— Ueber die Nervenendigung in der Netzhaut des Auges bei Menschen und bei Thieren. (Aus den Sitzungsberichten der Niederrhein. Ges. f. Nat. und Heilk. zu Bonn, 3. Mai 1869.) — Harting, Ueber die neueren Linsensysteme von Merz und von Hartnack und über die Grenzen des optischen Vermögens bei unseren heutigen Mikroscopen. Poggendorff's Ann. 1861, Bd. 114, p. 82. —— Das Mikroscop. Deutsch von W. Theile. Braunschweig 1866, 3 Bde. — Volkmann, Ueber Irradiation. Berichte der Leipziger Gesellschaft der Wissenschaften 1857, p. 129. —— Ueber den Einfluss der Uebung auf das Erkennen räumlicher Distanzen. Berichte der Leipziger Gesellsch. d. Wissenschaften 1858, p. 38. —— Ueber das Vermögen, Grössenverhältnisse zu schätzen, ibid. p. 173. —— Weitere Untersuchungen über die Frage, ob die Zapfen der Netzhaut als Raumelemente beim Sehen fungiren. Reichert's und Dubois' Archiv 1866, p. 649. — Vierordt, Ueber die Messungen der Sehschärfe. A. f. O. 1863, IX. 1, p. 161, IX. 3, p. 219. — Hensen, Ueber eine Einrichtung der *Fovea centralis retinae*, welche bezweckt, dass feinere Distanzen, als solche, die dem Durchmesser eines Zapfens entsprechen, noch unterschieden werden können. Virchow's Archiv 1865, Bd. 34, p. 401. —— Ueber das Sehen in der *Fovea centralis*. Virchow's Archiv 1867, Bd. 39, p. 475. — Gerling, Ueber die Beobachtung von Netzhautbildern (am ausgeschnittenen Auge). Poggendorff's Ann. 1839, Bd. 46, p. 243. — E. H. Weber, Der Tastsinn und das Gemeingefühl. Handwörterbuch der Physiologie 1846, III. 2, p. 481. —— Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. Berichte der Leipziger Gesellschaft der Wissenschaften 1852, p. 85. — Aubert und Förster, Beiträge zur Kenntniss des indirecten Sehens. Untersuchungen über den Raumsinn der Netzhaut. Arch. f. Ophthalm. 1857, III. 2, p. 1. — Aubert, Beiträge zur Kenntniss des indirecten Sehens. Moleschott's Unters. z. Naturl. d. Menschen 1857, IV. p. 16. — Landolt en Nuël, Proeven ter bepaling van het knooppunt voor excentrisch in het oog vallende Lichtstrahlen. Onderzoekingen in het Physiol. Laborator. te Utrecht 1874, Derde Reeks III. 1, p. 1. — Landolt und Nuël, Versuch einer Bestimmung des Knotenpunktes für excentrisch in das Auge fallende Lichtstrahlen. Arch. f. Ophth. 1873, XIX. 3, p. 301. — Förster, Mensurations du champ visuel monoculaire. Annales d'Oculistique 1868, p. 5. —— Das Perimeter. Klinische Monatsblätter f. Augenheilk. 1869, p. 411. (cf. Snellen und Landolt dieses Handbuch III. 1, p. 58 u. 71.) — Mariotte, Nouvelles découvertes sur la vue. Mémoires de l'Acad. de Paris 1669 und 1682. Philosophical Transactions 1668. Oeuvres 1740, p. 496. — Daniel Bernoulli, Experimentum circa nervum opticum. Comment. Acad. Petropolitanae T. I. 1728, p. 314. (Blinder Fleck.) — A. Fick und Paul Dubois-Reymond, Ueber die unempfindliche Stelle der Netzhaut im menschlichen Auge. Müller's Archiv 1853, p. 396. — Gudden, Ueber das Verhältniss der Centralgefässe des Auges zum Gesichtsfelde. Müller's Archiv 1849, p. 522. — Hannover, Das Auge, Beiträge zur Anatomie, Physiologie und Pathologie dieses Organs. Leipzig 1852. — Volkmann, Ueber einige Gesichtsphänomene, welche mit dem Vorhandensein eines unempfindlichen Flecks im Auge zusammenhängen. Berichte der Leipziger Gesellsch. d. Wissensch. 1853, p. 27. — v. Wittich, Studien über den blinden Fleck. Arch. f. Ophth. 1863, IX. 3, p. 1. — Zehender, Historische Notiz zur

Lehre vom blinden Fleck. Arch. f. Ophth. 1864, X. 1, p. 152. — Woinow, Ueber das Sehen mit dem blinden Fleck und seiner Umgebung. Arch. f. Ophth. 1869, XV. 2, p. 155. — Landolt, La Distanza diretta tra la macula lutea e la papilla del Nervo ottico. Giornale d'oftalmologia del Pr. Quaglino 1872, II. 1, p. 1. — De la Hire, Mémoire sur les différens accidens de la vue in Mém. de l'Acad. 1694 und Explication de quelques faits d'Optique in Mém. de l'Acad. 1709, p. 95. — Treviranus, Beiträge zur Aufklärung der Gesetze und Erscheinungen des organischen Lebens 1835, II. p. 42. — Brücke, Ueber die physiologische Bedeutung der stabförmigen Körper und der Zwillingszapfen in den Augen der Wirbelthiere. Müller's Archiv 1844, p. 444. — H. Müller, Ueber die entoptische Wahrnehmung der Netzhautgefässe, insbesondere als Beweismittel für die Lichtperception durch die nach hinten gelegenen Netzhautelemente. Würzburger Verhandlungen 1855, p. 411. — Heymann, Die empfindende Netzhautschicht. Dresden 1864. Aus den Verhandlungen der Leopoldin. Akad. 1863, Vol. XXX. — W. Zenker, Versuch einer Theorie der Farbenperception. Archiv für mikroscop. Anat. 1867, III. p. 249.

§ 58—61. Mile, Ueber die Richtungslinien des Sehens. Poggendorff's Ann. 1837, Bd. 42, p. 37. — Knochenhauer, Ueber die Richtungsstrahlen und Richtungslinien beim Sehen. Poggendorff's Ann. 1839, Bd. 46, p. 248. — Volkmann, Erklärung einiger Gesichtsphänomene (Localisation). Müller's Archiv 1839, p. 233. — Stamm, Ueber Volkmann's Richtungslinien des Sehens und über die Ursache der Undeutlichkeit ausserhalb der Augenaxe. Poggendorff's Ann. 1842, Bd. 57, p. 346. — L. Fick, Bemerkungen zur Physiologie des Sehens (Aufrechtsehen). Müller's Archiv 1854, p. 220. — Ueberweg, Zur Theorie der Richtung des Sehens. Zeitschrift für rationelle Medicin 1859, III. Reihe, Bd. V. p. 268. — Rollett, Ein unfehlbarer Beweis gegen die identischen Netzhautstellen. Wiener Med. Wochenschrift 1861, No. 37. — Nagel, Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen 1861. — Panum, Ueber die einheitliche Verschmelzung verschiedenartiger Netzhauteindrücke beim Sehen mit zwei Augen. Reichert's u. Dubois' Archiv 1861, p. 63. — Bahr, Ueber die Nichtexistenz identischer Netzhautstellen. A. f. Ophth. 1862, VIII. 2, p. 179. — v. Hasner, Ueber das Binocularsehen. (Räumlich.) Prag 1859. (Aus den Abhandlungen der Königl. Böhm. Gesellschaft der Wissenschaften. 5. Folge. 10. Band.) —— Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Auges. Prag 1873. —— Zur Theorie der Sehempfindung. A. f. O. 1875, Bd. XXI. 1, p. 43. — Jacobson, Die Hasner'sche Theorie der Rückconstruction. Arch. f. Ophthalm. 1874, XX. 2, p. 71. — Classen, Ueber das Schlussverfahren des Sehactes. Rostock 1863. —— Durch welche Hülfsmittel orientiren wir uns über den Ort der gesehenen Dinge. Arch. f. Ophth. 1873, XIX. 3, p. 53. — Hering, Beiträge zur Physiologie. Leipzig 1861—1864. 1. Heft: Vom Ortssinne der Netzhaut, 1861. 2. Heft: Von den identischen Netzhautstellen, 1862. 3. Heft: Vom Horopter, 1863. 4. Heft: Auflösung des Horopterproblems, Augenbewegungen, 1864. 5. Heft: Vom binocularen Tiefsehen, Kritik einer Abhandlung von Helmholtz über den Horopter, 1864. —— Bemerkungen zu Volkmann's neuen Untersuchungen über das Binocularsehen. Dubois' u. Reichert's Archiv 1864, p. 303. —— Das Gesetz der identischen Sehrichtungen. Reichert's u. Dubois' Archiv 1864, p. 27. — Donders, Das binoculare Sehen und die Vorstellung von der dritten Dimension. Arch. f. Ophth. 1867, XIII. 1, p. 1. — Hering, Bemerkungen zu der Abhandlung von Donders über das binoculare Sehen. Arch. f. Ophth. 1868, XIV. 1, p. 1. — Kaiser, Der Modus des Binocularsehens. Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde 1869, Bd. I. 1, p. 130. — Woinow, Beiträge zur Lehre vom binocularen Sehen. Arch. f. Ophth. 1879, XVI. 1, p. 200. — Donders, De projectie der gezichtsverschijnselen naar de richtungslijnen. Onderzoekingen ged. in het Physiol. Laborat. d. Utrechtsche Hoogeschool 1872, Derde Reeks I. p. 146. —— Die Projection der Gesichtserscheinungen nach den Richtungslinien. A. f. Ophth. 1871, XVII. 2, p. 1. —— De stereoskopische combinatie na operatie van scheelzien, en argu-

ment tegen de empiristische theorie. Onderzoekingen ged. in het Physiol. Laborator. d. Utrechtsche Hoogeschool 1872, Derde Reeks I. p. 83. — Hirschberg, Eine Beobachtungsreihe zur empiristischen Theorie des Sehens. A. f. O. 1875, Bd. XXI. 1, p. 23. — Volkmann, Ueber identische Netzhautstellen. Briefliche Mittheilung. Berliner Akad.-Ber. 1863. August. — W. v. Bezold, Ueber binoculares Sehen. Poggendorff's Ann. 1867, Bd. 130, p. 424. — Mandelstamm, Beitrag zur Lehre von der Lage correspondirender Netzhautpunkte. Arch. f. Ophth. 1872, XVIII. 2, p. 133. — Schöler, Zur Identitätsfrage: Grenzen der Correspondenz beider Sehfelder bei Betrachtung linearer, bezw. flächenhafter und körperlicher Objecte. Arch. f. Ophth. 1873, XIX. 1, p. 1. — van Moll, Over de normale incongruentie der Netvliezen. Onderzoekingen gedaan in het Physiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool, 1875. Derde Reeks, III. p. 39.

§ 62. Prévost (Alexandre), Essai sur la théorie de la vision binoculaire. Genève 1843. —— Ueber die Theorie des Sehens mit zwei Augen. Poggendorff's Ann. 1844, Bd. 62, p. 548. — Emsmann, Ueber Doppeltsehen. Poggendorff's Ann. 1855, Bd. 96, p. 588. — Meissner, Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. Leipzig 1854. (Horopter und Augenbewegungen.) — Claparède, Sur une nouvelle détermination de l'Horoptère. Comptes rendus 1858, p. 566. —— Beitrag zur Kenntniss des Horopters. Müller's Arch. 1859, p. 384. — Hankel, Mathematische Bestimmung des Horopters. Poggendorff's Ann. 1864, Bd. 122, p. 575. — Helmholtz, Bemerkungen über die Form des Horopters. Poggendorff's Ann. 1864, Bd. 123, p. 158. —— Ueber den Horopter. 1) Die Vertheilung der correspondirenden Punkte in beiden Sehfeldern. 2) Form des Horopters. 3) Bedeutung des Horopters beim Sehen. 4) Mathematische Berechnung der Form des Horopters. Arch f. Ophth. 1864, X. 1, p. 1—60. — Hering, Gegenbemerkungen über die Form des Horopters. Poggendorff's Ann. 1865, Bd. 124, p. 638. — Kaiser, Zur Lehre vom Horopter. Arch. f. Ophth. 1869, XV. 1, p. 75. — Wundt, Ueber binoculares Sehen. Poggendorff's Ann. 1862, Bd. 116, p. 617. — Hering, Ueber Wundt's Theorie des binocularen Sehens. Poggendorff's Ann. 1863, Bd. 119, p. 115. — Wundt, Ueber Dr. E. Hering's Kritik meiner Theorie des Binocularsehens. Poggendorff's Ann. 1863, Bd. 120, p. 172. — Hering, Zur Kritik der Wundt'schen Theorie des binocularen Sehens. Poggendorff's Ann. 1864, Bd. 122, p. 476. — Brewster, Ueber die Ursache der Farbenverschönerung bei Umkehrung des Kopfes. Poggendorff's Ann. 1841, Bd. 54, p. 137 aus Report of the 10th Meeting of the British Association Notices p. 7. — A. Müller, Ueber das Beschauen der Landschaften mit normaler und abgeänderter Augenstellung. Poggendorff's Ann. 1852, Bd. 86, p. 147.

§ 63—64. Lehot in Repertorium der Physik von Fechner 1832, Bd. 2, p. 229 und in Froriep's Notizen 1830, Bd. 28. (Auszüge aus einem Aufsatze, dessen Titel nicht angegeben ist in Annales des Sciences d'observations par Saigey et Raspail 1830, III. — Necker, Ueber einige merkwürdige optische Phänomene, Schreiben an Brewster. (Necker's Rhomboëder.) Poggendorff's Ann. 1833, Bd. 27, p. 502. — Hueck, Ueber die Täuschung des Fernrückens der Gesichtsobjecte. Müller's Archiv 1840, p. 76. — Tourtual, Die Dimension der Tiefe im freien Sehen und im stereoscopischen Bilde. Münster 1842. — Hermann Meyer in Zürich, Ueber einige Täuschungen in der Entfernung und Grösse der Gesichtsobjecte. Archiv f. physiol. Heilk. 1842, p. 316. —— Ueber den Einfluss der Aufmerksamkeit auf die Bildung des Gesichtsfeldes überhaupt und des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes beider Augen insbesondere. Arch. f. Ophth. 1856, II. 2, p. 77. —— Beitrag zur Lehre von der Schätzung der Entfernung aus der Convergenz der Augenaxen. Arch. f. Ophth. 1856, II. 2, p. 92. Poggendorff's Ann. 1852, Bd. 85, p. 198. —— Zur Lehre von der Synergie der Augenmuskeln. Poggendorff's Ann. ibid. p. 207. — Dove, Ueber den Einfluss des Binocularsehens bei Beurtheilung der Entfernung durch Spiegelung und Brechung gesehener Gegenstände. Poggendorff's Ann. 1858, Bd. 104, p. 325. — Nagel, Ueber die ungleiche Entfernung von Doppel-

bildern, welche in verschiedener Höhe gesehen werden. Arch. f. Ophth. 1862, VIII. 2, p. 368. — Wheatstone, Ueber das Sehen mit zwei Augen und das Stereoscop. (Kurze Notiz.) Poggendorff's Ann. 1839, Bd. 47, p. 625 aus Bibl. univers. N. S. T. XVII. p. 174. —— Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes. I. Ueber eine merkwürdige und bis jetzt unbeachtete Erscheinung beim Sehen mit beiden Augen. Poggendorff's Annalen 1842, Ergänzungsband I. p. 1. Von Dr. Franz übersetzt aus den Philosophical Transactions 1838, Bd. II. p. 371. — Brücke, Ueber die stereoscopischen Erscheinungen und Wheatstone's Angriff auf die Lehre von den identischen Stellen der Netzhäute. Müller's Archiv 1841, p. 459. — Rollmann, Zwei neue stereoscopische Methoden. Poggendorff's Ann. 1853, Bd. 90, p. 186. cf. ibid. Bd. 89, p. 350. — Faye, Ueber ein neues Stereoscop. Poggendorff's Ann. 1856, Bd. 99, p. 641. Comptes rend. T. XLIII. p. 673. — Halske, Stereoscop mit beweglichen Figuren. Poggendorff's Annalen 1857, Bd. 100, p. 657. — Helmholtz, Das Telestereoscop. Poggendorff's Ann. 1857, Bd. 101, p. 494 und Bd. 102, p. 167. — Volkmann, Die stereoscopischen Erscheinungen in ihrer Beziehung zu der Lehre von den identischen Netzhautstellen. Arch. f. Ophthalm. 1859, V. 2, p. 1. — Dove, Stereoscopische Darstellung eines durch einen Doppelspath binocular betrachteten Typendruckes und Anwendung des Stereoscops, um einen Druck von seinem Nachdruck, überhaupt ein Original von seiner Copie zu unterscheiden. Poggendorff's Ann. 1859, Bd. 106, p. 655 und 657. —— Ueber Stereoscopie. Poggendorff's Ann. 1860, Bd. 110, p. 494. — v. Recklinghausen, Zur Theorie des Sehens. Poggendorff's Ann. 1860, Bd. 110, p. 65. — August, Ueber eine neue Art stereoscopischer Erscheinungen. Poggendorff's Annalen 1860, Bd. 110, p. 582. — Oppel, Bemerkungen über Accommodation beim stereoscopischen Sehen. Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main 1860—1861, p. 48. — v. Recklinghausen, Zum körperlichen Sehen. Poggendorff's Ann. 1861, Bd. 114, p. 170. — F. Burckhardt, Ueber die Empfindlichkeit des Augenpaares für Doppelbilder. Poggendorff's Ann. 1861, Bd. 112, p. 596. — Böttcher, Ueber das Minimum der stereoscopischen Wahrnehmung. Klinische Wochenschrift. Berlin 1866, No. 4. — Listing, Ueber eine neue Art stereoscopischer Wahrnehmung. Poggendorff's Ann. 1870, Bd. 141, p. 225. — Yvon, Ein auf die Reliefempfindung gegründetes Photometer. Poggendorff's Ann. 1873, Bd. 148, p. 334. Comptes rend. T. 75, p. 1102. — van der Meulen en van Dooremaal, Stereoskopisch zien, zonder correspondeerende half-beelden. Onderzoekingen ged. in het Physiol. Laborat. d. Utrechtsche Hoogeschool 1873. Derde Reeks II. p. 119. —— Stereoscopisches Sehen ohne correspondirende Halbbilder. Arch. f. Ophthalm. 1873, XIX. 1, p. 137. — Böttcher, Zur Theorie und Construction stereoscopischer Instrumente für wissenschaftliche Diagnostik. Arch. f. Ophthalm. 1874, XX. 2, p. 182. — Brewster, On the conversion of relief by inverted vision. Edinburgh. Phil. Transactions 1847, T. XV. p. 657. — Wheatstone, On some remarkable and hithertoo unobserved phaenomena of binocular vision. (Pseudoscopie.) Philos. Transact. 1852, P. I. p. 1. — Schröder, Ueber eine optische Inversion mit freiem Auge. Poggendorff's Ann. 1852, Bd. 87, p. 306. — Oppel, Ueber ein Anaglyptoscop (Vorrichtung, vertiefte Formen erhaben zu sehen). Poggendorff's Ann. 1856, Bd. 99, p. 466. — Dove, Ueber die Unterschiede monocularer und binocularer Pseudoscopie. Poggendorff's Ann. 1857, Bd. 101, p. 302. — Schröder, Ueber die optische Inversion bei Betrachtung verkehrter, durch optische Vorrichtungen entworfener physischer Bilder. Poggendorff's Ann. 1858, Bd. 105, p. 298. — Sinsteden, Ueber ein pseudoscopisches Bewegungsphänomen. Poggendorff's Annalen 1860, Bd. 111, p. 336. — Mohr, Ueber pseudoscopische Wahrnehmungen. Poggendorff's Ann. 1860, Bd. 111, p. 638. — Dove, Optische Notizen: III. Ueber Inversionen bei binocularer und monocularer Betrachtung perspectivischer Zeichnungen und durchsichtiger Körper. Poggendorff's Ann. 1867, Bd. 132, p. 474. — Rollmann, Pseudoscopische Erscheinungen. Poggendorff's Ann. 1868, Bd. 134, p. 615. — F. Burckhardt, Eine Relief-Erscheinung. Poggendorff's Annalen 1869, Bd. 137,

p. 471. — Emsmann, Eine pseudoscopische und optometrische Figur. Poggendorff's Ann. 1870, Bd. 141, p. 476.

§ 65—66. Panum, Die scheinbare Grösse der gesehenen Objecte. Arch. f. Ophthalm. 1859, V. 1, p. 1. — Förster, Ophthalmologische Beiträge, Berlin 1862. (Mikropsie.) — Drobisch, Ueber die Bestimmung der Gestalt des scheinbaren Himmelsgewölbes. Berichte der Leipziger Gesellschaft der Wissenschaften 1854, p. 107. — Dove, Ueber eine optische Täuschung beim Fahren auf der Eisenbahn. Poggendorff's Annalen 1847, Bd. 71, p. 118. — Oppel, Zur Theorie einer eigenthümlichen Reactionsthätigkeit des menschlichen Auges in Bezug auf bewegte Netzhautbilder. Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main 1859—1860, p. 54. — Th. W. Engelmann, Ueber Scheinbewegung in Nachbildern. Jenaische Zeitschrift für Medicin und Naturwissenschaft 1867, Bd. III. p. 443. — F. Zöllner, Ueber eine neue Art von Pseudoscopie und ihre Be ichungen zu den von Plateau und Oppel beschriebenen Bewegungs-Erscheinungen. Poggendorff's Ann. 1860, Bd. 110, p. 500. —— Ueber die Abhängigkeit der pseudoscopischen Ablenkung paralleler Linien von dem Neigungswinkel der sie durchschneidenden Querlinien. Poggendorff's Annalen 1861, Bd. 114, p. 587. —— Die Theorie der unbewussten Schlüsse in ihrer Anwendung auf die Gesichtswahrnehmungen p. 378 seines Werkes: Ueber die Natur der Kometen. Leipzig 1872. — Kundt, Untersuchungen über Augenmaass und optische Täuschungen. Poggendorff's Ann. 1863, Bd. 120, p. 118. — Aubert, Ueber Augenmaass und optische Täuschungen. Poggendorff's Ann. 1864, p. 122, p. 178. — Bacologlo, Ueber die von Zöllner beschriebene Pseudoscopie. Poggendorff's Ann. 1861, Bd. 113, p. 333.

IV. Augenbewegungen.

§ 67. Bell, On the motions of the Eye. Philos. Transactions. 1823. — Donders, Beitrag zur Lehre von den Bewegungen des menschlichen Auges. Holländische Beiträge zu den anatomischen und physiologischen Wissenschaften. I. Düsseldorf und Utrecht 1848, p. 105. — Helmholtz, Ueber die normalen Bewegungen des menschlichen Auges. Arch. f. Ophth. 1863. IX. 2, p. 153. — Hering, Die Lehre vom binocularen Sehen. I. Leipzig 1868.

§ 68. Volkmann, Untersuchung über den Stand des Netzhautbildchens. Poggendorff's Ann. 1836, Bd. 37, p. 342. —— Ueber die Lage des Kreuzungspunktes der Richtungsstrahlen des Lichts im ruhigen und bewegten Auge. Poggendorff's Ann. 1838, Bd. 45, p. 207. —— Revision einiger in meinen Beiträgen zur Physiologie des Gesichtssinnes aufgestellten Lehrsätze. (Richtungslinien, Drehpunkt.) Müller's Archiv 1843, p. 1. — J. J. Müller, Untersuchungen über den Drehpunkt des menschlichen Auges. Inauguraldissertation. Zürich 1868. Mit geringen Veränderungen unter gleichem Titel in Archiv für Ophthalmologie 1868, Bd. XIV. 3, p. 183. — Woinow, Ueber den Drehpunkt des Auges. Arch. f. Ophth. 1870, XVI. 1, p. 243. —— Beiträge zur Lehre von den Augenbewegungen. Arch. f. Ophth. 1871, XVII. 2, p. 233. — Volkmann, Zur Mechanik der Augenmuskeln. Berichte der Akademie zu Leipzig 1869, p. 28. — Berlin (in Palermo), Beitrag zur Mechanik der Augenbewegungen (Drehpunkt; Verschiebungen des ganzen Bulbus). Arch. f. Ophth. 1871, XVII. 2, p. 154. — Weiss, Zur Bestimmung des Drehpunktes im Auge. A. f. O. 1875. XXI. 2, p. 132.

§ 69. Ruete, Das Ophthalmotrop. 1846. (Aus den Göttinger Studien 1845.) —— Ein neues Ophthalmotrop. 1857. — Fick, Die Bewegungen des menschlichen Augapfels. Zeitschrift f. ration. Med. Neue Folge 1854. Bd. 4, p. 101. — Wundt, Ueber die Bewegung der Augen und: Beschreibung eines künstlichen Augenmuskelsystems zur Untersuchung der Bewegungsgesetze des menschlichen Auges im gesunden und kranken Zustande. Arch. f. Ophth. 1862. VIII. 2, p. 1—114.

§ 70. Hueck, Die Achsendrehung des Auges. Dorpat 1838. — Meissner, Zur Lehre von

den Bewegungen des Auges. A. f. Ophth. 1855, II. 1, p. 1. —— Ueber die Bewegungen des Auges, nach neuen Versuchen. Zeitschrift für rat. Medicin; 3. Reihe, 1860, VIII. p. 1. — Fick, Neue Versuche über die Augenstellungen. Moleschott's Untersuchungen z. Naturl. d. Menschen. 1858. V. p. 193. — Berthold, Ueber die Bewegungen des kurzsichtigen Auges. Arch. f. Ophthalm. 1865. XI. 3, p. 107. — Hering, Die sogenannte Raddrehung des Auges in ihrer Bedeutung für das Sehen bei ruhendem Blick. Reichert's u. Dubois' Archiv 1864, p. 278. —— Ueber die Rollung des Auges um die Gesichtslinie. Arch. f. Ophth. 1869. XV. 1, p. 1. — Donders, De corresponderende netvlies-meridianen en de symmetrische Rolbewegingen. Onderzoekingen ged. in het Physiol. Laborator. d. Utrechtsche Hoogeschool 1875. Derde Reeks. III. 2, p. 45. —— Die correspondirenden Netzhautmeridiane und die symmetrischen Rollbewegungen. Arch. f. Ophth. 1875, XXI. 3, p. 100. — W. Schön, Zur Raddrehung. I. Mittheilung. A. f. Ophth. 1874, XX. 2, p. 171 u. 308. —— II. Mittheilung ibid. 1875, XXI. 2, p. 205. — F. Arlt jun., Tijdsbepalingen ten aanzien der bewegingen van den oogappel. (Iris.) Onderzoekingen in het Physiol. Laborator. te Utrecht. 1869. Tweede Reeks II. p. 402. — Lamansky, Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit der Blickbewegung, respective Augenbewegung. Pflüger's Archiv für Physiologie 1869, II. p. 418.

§ 71. Donders, Over aangeboren en verkregen associatie. Onderzoekingen in het Physiol. Laborat. te Utrecht 1870. Tweede Reeks III. p. 145. —— Ueber angeborene und erworbene Association. Arch. f. Ophth. 1872. XVIII. 2, p. 153.

§ 72. Böttcher, Ueber Augenbewegungen und binoculare Perspective, nach eigenen Untersuchungen. Arch. f. Ophth. 1866, XII, 2, p. 22. — Donders, De beweging van het oog, toegelicht met het phaenophthalmotroop. Onderzoekingen in het Physiol. Laborat. d. Utrechtsche Hoogeschool 1870. Tweede Reeks III. p. 119. —— Die Bewegungen des Auges, veranschaulicht durch das Phaenophthalmotrop. Arch. f. Ophth. 1870, XVI. 1, p. 154. — Hermann, Ein Apparat zur Demonstration der aus dem Listing'schen Gesetze folgenden Raddrehungen. Pflüger's Archiv f. Physiologie 1873, VIII. p. 305.

§ 73. Dobrowolsky, Ueber Rollung der Augen bei Convergenz und Accommodation. Arch. f. Ophth. 1872, XVIII. 2, p. 53. — Donders, De primaire standen van het oog: *a*) vor evenwijdige, *b*) vor convergente blicklijnen. Onderzoekingen ged. in het Pysiol. Laborat. d. Utrechtsche Hoogeschool 1873. Derde Reeks II. p. 380.

§ 74. Schneller, Studien über das Blickfeld. A. f. O. 1875. XXI. 3, p. 133.

§ 75. Donders, Noch etwas über Hueck's vermeintliche Axendrehung des Auges. Holländische Beiträge 1848. I. p. 384. — Aubert, Eine scheinbare bedeutende Drehung von Objecten bei Neigung des Kopfes nach rechts oder links. Virchow's Archiv 1860, Bd. 20, p. 381. — Aub, Finden Raddrehungen der Augen bei Seitwärtsneigungen des Kopfes statt? Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde 1870, I. 2, p. 232. — Skrebitzky, Bijdrage tot de leer der bewegingen van het oog. Onderzoekingen in het Phys. Laborat. te Utrecht. 1870. Tweede Reeks III. p. 424. —— Ein Beitrag zur Lehre von den Augenbewegungen. A. f. O. 1871. XVII. 1, p. 107. — Nagel, Ueber das Vorkommen von wahren Rollungen des Auges um die Gesichtslinie. Arch. f. Ophth. 1868, XIV. 2, p. 228 und ibid. 1871, XVII. 1, p. 237. — Breuer, Ueber die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinthes. Wiener Medicin. Jahrbücher 1874, Heft 1. — Mulder, De parallele Rolbewegingen der oogen. Onderzoekingen gedaan in het Physiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool. 1875. Derde Reeks III. 1, p. 118. — Donders, Naschrift over de wet der ligging van het netvlies in betrekking tot die van het blikvlak. ibid. p. 185. — Mulder, Ueber parallele Rollbewegungen der Augen. A. f. O. 1875. XXI. 1, p. 68. — Donders, Ueber das Gesetz der Lage der Netzhaut in Beziehung zu der Blickebene. A. f. O. 1875. XXI. 1, p. 125. — Ritzmann, Ueber die Verwendung von Kopfbewegungen bei den gewöhnlichen Blickbewegungen. Archiv f. Ophth. 1875. XXI. 1, p. 131.

§ 76. Donders, Ueber den Zusammenhang zwischen dem Convergiren der Sehaxen und dem Accommodationszustande der Augen. Holländische Beiträge 1848. I. p. 379. — Adamük, Over de Innervatie der oogbewegingen. Onderzoekingen in het Physiologisch Laboratorium te Utrecht. 1870. Tweede Reeks III. p. 140. —— Bijdrage tot de physiologie van den n. oculomotorius. ibid. p. 398. Deutsch im Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften 1870, p. 65. — Samelsohn, Zur Frage von der Innervation der Augenbewegungen. Arch. f. Ophth. 1872. XVIII. 2, p. 142.

Berichtigungen und Nachträge.

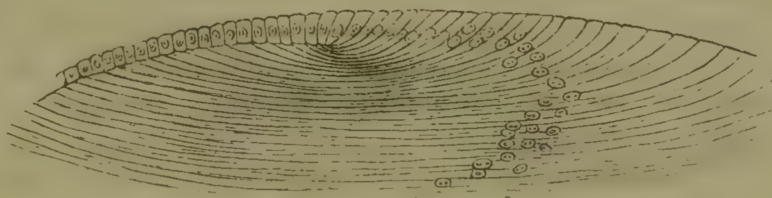
Pag. 403 Z. 5 v. u. muss das Minuszeichen vor $F_{,}$ wegfallen.
- 408 Z. 7 v. u. statt Winkel a lies Winkel α.
- 415 Z. 8 v. o. statt 7,8016 Mm. lies 7,8036 Mm.
- 416 Formel II) und III) muss es immer statt $\sqrt[3]{}$ heissen $\sqrt[2/3]{}$.
- 416 Z. 10 v. o. statt: »ϱ_1 und ϱ_2 mit der Gesichtslinie zusammenfallen, aber mit der Axe des Ophthalmometers einen Winkel« lies: »ϱ_1 und ϱ_2 mit der Axe des Ophthalmometers zusammenfallen, aber mit der Gesichtslinie einen Winkel.«
- 416 Z. 4 v. u. statt »ϱ^0« lies »ϱ_0«.
- 422 Tab. III. Die beiden Minuszeichen der letzten Zeile (IX) müssen wegfallen. Mittel statt 22,506 lies 22,546.
- 431 Gleichung XV muss heissen $x = \frac{r \cdot (d - F_{,,})}{2\,(d - F_{,,}) - r}$.
- 432 Z. 4 v. u. statt $\frac{F_{,}}{z} = \frac{F_{,,}}{d}$ lies $\frac{F_{,}}{z} + \frac{F_{,,}}{d}$.
- 433 Z. 9 v. o. statt $d\,F_{,}x - F_{,}x\,d - F_{,}x\,F_{,,}$ lies $d\,F_{,}x - F_{,}x\,d + F_{,}x\,F_{,,}$.
- 447 Z. 3 v. o. statt 18,586 lies 18,226.
- 455 Tab. VIII. letzte Zahl statt 0,11 lies 0,9.
- 463 Z. 12 v. o. sind die Worte: »und ein eben so allmäliges Herunterrücken der Brennweiten der übrigen Meridiane« zu streichen.
- 469 Z. 6 v. u. statt »XVIII. p. 363« lies »XII. p. 334«.
- 514 Z. 19 v. o. statt »Bd. 52« lies »Bd. 32«.
- 517 Z. 2 v. u. statt »Farbeneinheit« lies »Farbenreinheit«.
- 553 Z. 21 v. u. statt »Annalen 1864« lies »Annalen 1862«.
- 574 Z. 5 v. o. statt »1862« lies »1852«.
- 621 Z. 11 v. o. statt »geometrisch gelegene Punkte« lies »geometrisch gleich gelegene Punkte.«

Zu p. 631: Später hat indess (woran ich durch Herrn Professor NAGEL erinnert wurde) ZÖLLNER (Ueber die Natur der Kometen. 1872. p. 407) Beobachtungen mitgetheilt, welche den unter 8) hingestellten Satz widerlegen, und aus welchen hervorgeht, dass bei momentaner Beleuchtung die Täuschung nicht schwächer, sondern im Allgemeinen stärker ist. Ferner führt ZÖLLNER Beobachtungen an, nach welchen die pseudoscopische Ablenkung geringer ist, wenn man durch ein rothes Glas sieht. Drittens beobachtete ZÖLLNER, dass die noniusartige Verschiebung der Querstreifen verändert wird beim Betrachten des Musters durch eine Cylinderlinse, und leitet die Erscheinung von dem Astigmatismus der Augen ab. — Ausserdem hält ZÖLLNER an der schon in seinen früheren Arbeiten entwickelten Erklärung fest, dass die Täuschung dadurch entsteht, dass verschiedene Zeiten erforderlich sind, um zu dem Urtheile über Parallelismus oder Nichtparallelismus der Längs- und Querlinien zu kommen, wegen deren Begründung ich auf das Original verweise.

Zu p. 660: In seiner vorläufigen, daselbst citirten Mittheilung nimmt DONDERS geradezu eine »Primärstellung *b*) für convergente Blicklinien« an, welche dadurch charakterisirt ist, »dass bei allen Graden von symmetrischer Convergenz in der unveränderten Blickebene die horizontalen Meridiane stets gleichgerichtet bleiben, dass die Convergenzbewegungen also durch Drehung um Axen stattfinden, welche senkrecht auf der Blickebene stehen, d. h. ohne Drehung um die Blicklinie«. Diese Primärstellung würde also der von MEISSNER angegebenen gleich sein und könnte wohl als »Meissner'sche Primärstellung« von der Listing'schen Primärstellung unterschieden werden.

Corrigenda.

Im Cap. V. d. B. p. 33 ist an Stelle der dort unrichtig reproducirten Abbildung (Entwickelung der Linse nach v. BECKER) Fig. 9 die beistehende correcte Wiedergabe der Originalzeichnung zu setzen.



Ferner ist im Cap. VI. d. B. p. 64 die Fig. 4 (Brückencolobom nach SAEMISCH) nicht richtig gestellt. Der nach oben stehende Theil muss nach unten gerichtet sein.

Die Redaction.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

